¿Qué es la Ciencia?
Una visión interdisciplinaria

Klaus Jaffe

Traducción:

Manuel Bemporad

Índice

INTRODUCCION	**5**
Advertencia	5
En busca de una heurística de la realidad multidimensional	6
Sobre este libro	9
EL ASCENSO DEL *Homo sapiens scientiarum*	11
Procesos negentrópicos de la evolución: La supervivencia del afortunado	11
Historia natural de la Ciencia	14
Creatividad e imaginación	18
Orígenes del conocimiento: El impulso por saber	21
Emergencia y evolución de la mente humana	23
Evolución de la racionalidad: La mente modeladora	28
Los límites de la percepción y del pensamiento	33
Filosofía de la Ciencia	36
Desplazamiento de paradigmas	38
EL ASCENSO DE LA CIENCIA EMPIRICA	43
Las raíces de la lógica	43
Inducción, deducción y pensamiento racional	44
Niveles de lo conocible	47
Definición de ciencia	50
La arrogancia conduce a la ignorancia	54

El experimento y la observación científica	58
Elementos de la Ciencia: Observación, descripción y comunicación	62
La tecnología	64
Límites de los científicos, de la Ciencia y de sus aplicaciones	65
LA CIENCIA MODERNA	68
La realidad multidimensional	68
Ciencia de la complejidad	73
La perspectiva interdisciplinaria	76
Consiliencia	83
Simulaciones y modelos	86
La emergencia de la meta-ciencia	95
Estudio de la dinámica social	98
De la conciencia individual al conocimiento social	99
Preguntas futuras sobre meta-ciencia	102
LO QUE NO ES CIENCIA	106
Características de las pseudo-ciencias	108
El arte de la charlatanería	112
Los límites de la razón	114
¿Cómo hacer ciencia con una mente limitada y defectuosa?	120
Intuición, reduccionismo y generalizaciones sintéticas	120
CIENCIA Y SOCIEDAD	122
El impacto de la Ciencia en la sociedad humana	122

Ciencia moderna, sociedad y crecimiento económico	128
Ciencia y arte	135
Ciencia y ética	137
Las ciencias sociales y el exceso de positivismo	140
LOS PELIGROS FUTUROS	144
Entalpía negativa	144
Dogma, mitos y religiones	146
Otros enemigos del progreso científico	149
Meritocracia vs. Democracia	153
Reflexiones sobre la meritocracia	154
Progreso social: ¿Ficción o realidad?	158
Patentes, creatividad y actitudes científicas	159

INTRODUCCIÓN

Advertencia

Este texto tiene tres peculiaridades que podrían influir en la percepción, comprensión y asimilación del mensaje que pretendo transmitir:

1- No intenta ser un tratado completo y exhaustivo de la ciencia o de sus métodos. Desea analizar viejas y nuevas ideas sobre el tema desde una perspectiva interdisciplinaria amplia, explorar nuevos panoramas y estimular al intelecto, apuntando a encontrar una definición unificada de la ciencia fáctica o experimental. Muchos aspectos tratados superficialmente aquí han sido explorados más profundamente en otros sitios. Lo que intento hacer es dar cuenta de una visión holística, más que empeñarme en un análisis reduccionista detallado del tema. Este enfoque tiene limitaciones importantes, puesto que muchos detalles relevantes tienen que ser omitidos, pero permite alcanzar niveles de abstracción que no serían posibles mediante exploraciones de una sola disciplina. Intentar un análisis extenso tiene un costo en cuanto a la profundidad del conocimiento. Como dice la sabiduría popular, o bien sabemos mucho sobre muy poco, o muy poco sobre mucho. Aquí he elegido la segunda opción, pero reconociendo la relevancia de la primera.

2- El término ciencia, tal como es usado aquí, se basa en la herencia de Galileo Galilei y muchos otros. Defino a la ciencia como el método de búsqueda del conocimiento que subordina la teoría a la observación empírica y a los resultados experi-

mentales. Hay muchos usos de la palabra ciencia (ciencia fundamental, ciencia social, ciencia jurídica, etc., que no deberían ser confundidos con la ciencia en su versión empírica-experimental moderna. Por lo tanto, cuando me refiero a ciencia, me refiero al concepto galileano (también referido a veces como ciencia fáctica, experimental o "dura"), mientras que cuando uso el término "ciencias" me refiero a otras formas de búsqueda del conocimiento. Por ejemplo, las llamadas ciencias fundamentales, que incluyen a la matemática, la lógica, etc., no son consideradas aquí como ciencias fácticas o experimentales.

3- Los autores y obras a las que me refiero en el texto no son citados siguiendo reglas tradicionales. Las referencias fueron diseñadas para ayudar al lector a buscar en Internet mediante la introducción en motores inteligentes de búsqueda (como por ejemplo *Google*) la frase relevante, nombre o palabra, estimulando así una nueva manera de explorar el conocimiento.

En busca de una heurística multidimensional

¿Qué es la naturaleza? ¿Qué es la realidad? ¿Qué es la vida? ¿Qué es la conciencia? ¿Cómo funciona nuestra mente? ¿Cómo adquirimos nuevo conocimiento? ¿Cómo exploramos mejor la realidad? ¿Cómo incrementamos nuestro conocimiento? ¿De dónde viene la tecnología? ¿Qué es la ciencia? Estas son las preguntas que suelen plantearse filósofos, teólogos e intelectuales. La heurística, esto es, la búsqueda de técnicas para descubrir nuevos conocimientos, se ocupa de estos temas. Los científicos pocas veces se molestan en intentar responderlas. Ellos alegan que están ocupados respondiendo preguntas reales y concretas y que no tienen tiempo para esas preocupaciones más bien filosóficas. Sin embargo, las respuestas a estas preguntas son importantes si queremos

asomarnos al futuro de la humanidad y es relevante la formación profesional de quien intenta responderlas. Los científicos tienen una experiencia directa de la ciencia y de la adquisición de nuevo conocimiento mediante exploraciones de la realidad que no tienen los filósofos. Científicos y filósofos tienen por tanto visiones divergentes y estas diferencias son de importancia pues afectan a las respuestas de las preguntas planteadas. Hasta ahora la mayor parte de la filosofía de la ciencia y de nuestra comprensión de cómo funciona la ciencia ha sido una actividad principalmente de filósofos y no de científicos. Tal vez ha llegado el momento de revertir esta tendencia.

Entre los pocos científicos que con cierto éxito han intentado reflexionar sobre el estudio de la ciencia se encuentran los físicos. Los biólogos, o incluso científicos dedicados a investigaciones interdisciplinarias, rara vez lo han intentado. Aquí trataré de romper este monopolio y aspiro a arrojar alguna luz sobre áreas que se mantienen misteriosas y oscuras en nuestro panorama del conocimiento. La teoría de la complejidad, la biología evolutiva y la etología comparada, han desarrollado herramientas analíticas y nuevos conceptos que podrían ayudarnos a entender mejor el valor adaptativo (o de adecuación) de la ciencia, aclarando antiguas contradicciones relacionadas con la ciencia y sus métodos, lo que podría permitirnos continuar el trabajo de varios filósofos, empezando por los clásicos griegos, Immanuel Kant (*Crítica de la razón pura*), Ludwig Wittgenstein y muchos otros.

Quienes han tenido el privilegio de vivir en ambientes propicios para la adquisición de una visión amplia y profunda del mundo y que han contado con el genio suficiente para producir nuevas ideas, no siempre han desarrollado habilidades lingüísticas para transmitirlas al gran público. No son frecuentes los genios con capacidades comunicacionales extraordinarias como Galileo,

Darwin, Huxley y Tyndall. Más aún, cuando las nuevas ideas no usan la lógica subyacente del lenguaje, es aun menos probable la feliz pero rara coincidencia entre el genio científico y las habilidades comunicacionales. Las condiciones intelectuales que permiten las exploraciones de la realidad intangible, no lineal, compleja, multidimensional y difusa, que es la frontera actual de la ciencia moderna, son muy diferentes de las requeridas para desarrollar magníficas construcciones lineales de ideas.

No es posible penetrar en estos nuevos y sorprendentes mundos sin un esfuerzo intelectual del lector. Sirva este comentario como una excusa anticipada, ya que me hubiera gustado haber escrito este libro usando un lenguaje más sencillo o por qué no, poesía. En cambio, compenso mis limitaciones lingüísticas usando imágenes que espero ayuden a comunicar el mensaje. El uso de imágenes, sin embargo, tiene sus deficiencias. Las imágenes pueden ser potentes mensajeras de ideas, mas no siempre transmiten exactamente lo que se pretende, y personas diferentes pueden recibir mensajes diferentes con la misma imagen. Las imágenes servirán aquí como metáforas que ayuden a comunicar un mensaje.

Considero que la emergencia de la ciencia ha sido el evento más importante para la humanidad en el último milenio y el final de la revolución científica todavía no está a la vista. Trataremos de entender mejor este proceso histórico a fin de incrementar las posibilidades de cosechar sus posibles beneficios para la humanidad. Este trabajo, por tanto, aspira a abrir aspectos nuevos a la discusión y sugerir nuevos rumbos de investigación, y no puede ser, en consecuencia, un trabajo terminado.

Esta empresa requerirá comprender la estructura de la realidad, su interacción con nuestra conciencia y la dinámica del proceso de adquisición de nuevo conocimiento. El espacio multidimensional

donde ocurren estas interacciones será llamado, a falta de un nombre mejor, lo multi-dimensional y nuestro objetivo aquí será encontrar una heurística que permita su exploración.

Sobre este libro

Las historias de la ciencia y de la filosofía de la ciencia han extraído los datos sobre los que basan sus argumentos principalmente de la historia de la física. Fueron aquéllas las que mostraron el modesto lugar que nuestro planeta ocupa en el cosmos, las que revelaron leyes impactantes de la naturaleza, y las que condujeron a la elaboración del más potente medio de destrucción humana jamás construido: la bomba atómica. Otras armas de destrucción masiva, como las armas biológicas y químicas, compiten con la bomba atómica en cuanto a efectividad para alcanzar su propósito mortal, lo cual pone de manifiesto el avance de otras disciplinas diferentes de la física que estaban relegadas en la mente del público. A pesar de la importancia de la física, no es la única disciplina representativa de la ciencia, y en el futuro podría tener un peso muy disminuido comparado con otras más nuevas como la biología, la ecología evolutiva, la economía, la psicología y la sociología.

Al analizar los fenómenos científicos a través del lente de la física, la filosofía de la ciencia ha iluminado el funcionamiento de la misma ciencia. Ha identificado componentes diferentes del método científico (Mario Bunge: *Epistemología*), que el progreso científico no es un proceso continuo (Thomas Kuhn: *The Structure of Scientific Revolutions*), que demostrar que una teoría es incorrecta es más importante para el progreso científico que demostrar que es correcta (Karl Popper: *Logik der Forschung*), que la dinámica científica no puede ser planeada ni controlada desde afuera (Paul Feyerabend: *Against Method*), y que ésta es impulsada por

metodologías propias de las áreas específicas de investigación (Imre Lakatos: *Proofs and Refutations*).

Muchas de las nuevas disciplinas académicas no han sido todavía reconocidas como totalmente científicas, pues basan sus fuentes de conocimientos en descripciones verbales de fenómenos pobremente entendidos. Por ello es de suponer que una mejor comprensión del funcionamiento de la ciencia podría ser de ayuda en la maduración de esas disciplinas. Este es uno de los objetivos explícitos de este libro. Una sociología, una economía y una psicología con raíces firmes en la ciencia, se beneficiarían así de manera profunda, permitiéndonos una visión más predecible y cuantificable de los humanos y sus sociedades. Los beneficios de tales resultados serían enormes e inimaginables para nuestras mentes actuales. Por lo tanto, mientras la ciencia se desarrolla para nuevas disciplinas, parece justificado un paseo por el sendero que podría llevar hacia su mejor interpretación, aun cuando estemos seguros de que nos tropezaremos con obstáculos teóricos, morales, conceptuales o ideológicos. Sirvan las limitaciones del presente libro para motivar a que otros continúen en esta labor de ampliar nuestra comprensión del funcionamiento de las instituciones fundamentales.

No tenemos una propuesta completa y perfecta para el estudio de la ciencia y cualquier exploración general necesariamente limita un análisis profundo. Pero, cualquier análisis profundo dificulta una visión general del tema. La naturaleza multidisciplinaria de la realidad permite infinitos enfoques diferentes para su análisis, pero el espacio limitado de cualquier libro sólo admite la presentación de una pequeña fracción de ellos. Por lo tanto, pido al lector que juzgue cualquier enfoque analítico de la realidad por sus méritos heurísticos y su capacidad de lograr una síntesis interdisciplinaria, más que por su completitud y presentación

rigurosa de los detalles. Por supuesto, mi experiencia personal impregnará las visiones exploradas aquí. Ruego al lector que tolere mis limitaciones al tiempo que le prometo un viaje interesante y áspero a través de cuestiones filosóficas y prácticas.

EL ASCENSO DEL *HOMO SAPIENS SCIENTIARUM*

El menor de los hechos presupone el inconcebible universo e, inversamente, el universo necesita del menor de los hechos.
J.L. Borges

Proceso negentrópico de la evolución: La supervivencia del afortunado

Sin duda alguna, todos los organismos vivientes en nuestro planeta, incluyendo el *Homo sapiens,* son el producto de la evolución biológica, propulsada por tres diferentes fuerzas o sistemas:

1- Transmisión de información (desde progenitores a vástagos a través del código genético).

2- Producción de variación (por mutaciones y la recombinación genética).

3- Selección natural (con una saludable dosis de azar).

La evolución biológica es ciertamente un proceso complejo, pues involucra la acción y la interacción de muchos componentes diferentes, teniendo su dinámica una naturaleza irreversible. Desde un punto de vista matemático no es posible actualmente –y puede nunca serlo, incluso en principio– la imitación de organismos reales que son el producto de una combinación óptima de características genéticas alcanzada por mecanismos evolutivos que

actúan sobre un conjunto de genes. Además, sabemos que procesos estocásticos (o al azar) y caóticos influyen en el producto final de la selección natural. Por lo tanto, una comprensión completa y detallada de la evolución biológica podría ser imposible. La selección natural no siempre selecciona la solución óptima disponible, sino que a menudo favorece la más *sortaria*. Es decir, las soluciones evolutivas se deben a menudo más a la casualidad, por accidentes de la historia, a la geografía y por las restricciones de un proceso biológico particular, que a la parsimonia y eficiencia de la alternativa seleccionada. Es el azar junto con la adaptación, lo que permite a las especies establecerse entre los seres vivientes. Es decir, vivimos en un mundo para los afortunados o sortarios.

El resultado práctico de la supervivencia del más apto en la lucha por la vida es operacionalmente equivalente a una fuerza o empuje por trascender. En otras palabras, la principal razón de ser de todos los seres vivientes es alcanzar una permanencia en el planeta tan larga como sea posible, bien por su propia supervivencia, o por la de sus descendientes o de sus parientes. Expresado esto en términos evolutivos clásicos, se diría que el valor de adaptación de cualquier comportamiento o característica de un organismo, es su aumento en adecuación (*fitness*) lo cual puede ser logrado por mayores probabilidades de supervivencia, de reproducción o ambas. Esto puede ser alcanzado por medio de tres simples mecanismos, dinámicas o algoritmos (en la concepción de las ciencias de la computación):

1- Transmisión de información: principalmente vertical por herencia genética, aunque existen varios mecanismos genéticos y culturales de transmisión horizontal.

2- Variación: principalmente por mutaciones y recombinaciones genéticas causadas por la reproducción sexual.

3- Selección natural: que actúa sobre los genes, gametos, organismos, grupos, poblaciones y/o especies. El nivel más importante de selección ocurre en el de organismos que interactúan en poblaciones y con su medio ambiente.

Al tener la evolución biológica sus mecanismos de transmisión de información, el conjunto de algoritmos, comportamientos, estructuras y dispositivos bio-fisiológicos evolucionó para trascender mejor, acumulándose en muchos organismos vivos, dando lugar a que ocurran interacciones evolutivas y ecológicas interesantes. Cuanto más numerosos sean tales mecanismos y cuanto más sofisticadas sus interacciones, más amplio será el alcance de la trascendencia. Para controlar lo impredecible y asegurar un control efectivo del medio ambiente se requieren herramientas aun más sofisticadas. Podemos suponer que la evolución biológica producirá al final órganos aun más avanzados, capaces de proveer a sus poseedores medios todavía mejores para aumentar su buena suerte en la batalla por sobrevivir. En otras palabras, no es probable que mecanismos complejos intrincados evolucionen hacia unos más simples e indiferenciados (aunque ello podría ocurrir, por ejemplo, entre los parásitos) sino que, muy probablemente, ellos hayan evolucionado a partir de los más simples. De este modo, la evolución biológica (y la cosmológica) muestra una clara dirección en el tiempo, partiendo de lo simple e indiferenciado hacia lo complejo. Esta tendencia es llamada en termodinámica negentropía. La tendencia opuesta, que conduce de lo complejo a lo simple y desorganizado, es llamada entropía.

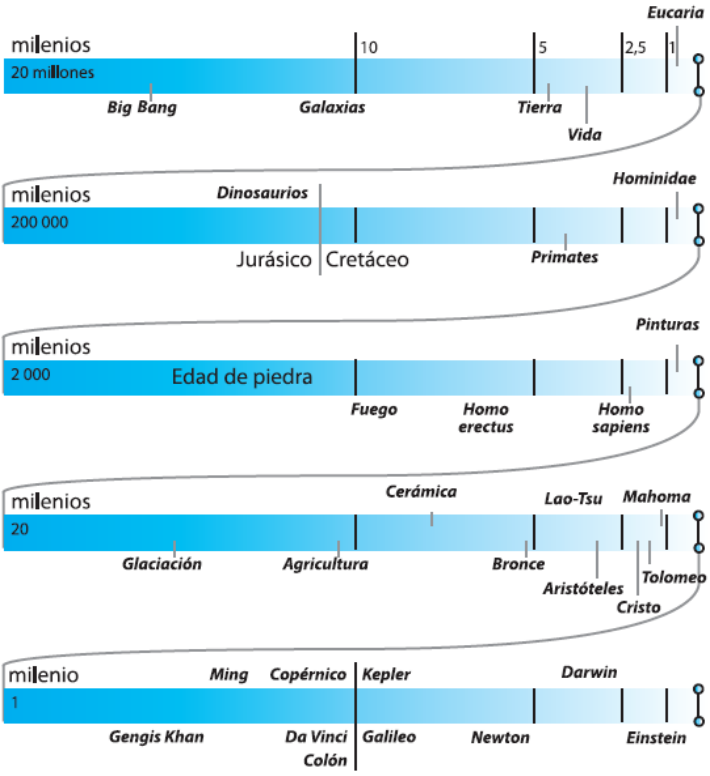
Estas tendencias negentrópicas no siempre son evidentes cuando observamos los procesos evolutivos. Aparecerán claramente si consideramos el tiempo desde una perspectiva suficientemente distante.

Historia natural de la ciencia

Es fácil perder la perspectiva cuando se analizan ventanas temporales mucho mayores que las del período de vida humano. Nuestros cerebros no están adaptados a pensar en estos marcos de tiempo. Así, al analizar, por ejemplo, el milenio pasado, parecería útil tener una visión a vuelo de pájaro del mismo, expandiendo nuestro análisis tan lejos como sea posible en el tiempo. Trataré de hacer esto utilizando diferentes ventanas de tiempo para analizar nuestro último milenio (ver figura).

La ventana más grande imaginable, que comprende decenas de millones de milenios, nos permite mostrar nuestros últimos mil años. Esta ventana sirve para colocar en perspectiva la formación del planeta Tierra y la emergencia de la vida. Si el evento que creó nuestro universo, el *Big Bang*, ocurrió hace unos 15.5 millones de milenios, entonces el desarrollo de la vida en el planeta Tierra representa alrededor del 25% de la historia de nuestro universo.

El uno por ciento de esta gran ventana produce una segunda ventana que cubre 200 000 milenios, en la cual se observa la evolución de los animales y plantas existentes, la emergencia de los primates y la de los homínidos. El análisis de estos intervalos de tiempo muestra procesos evolutivos discontinuos. Catástrofes geológicas, como la que creó el límite jurásico/cretáceo, marcan la evolución de la vida.



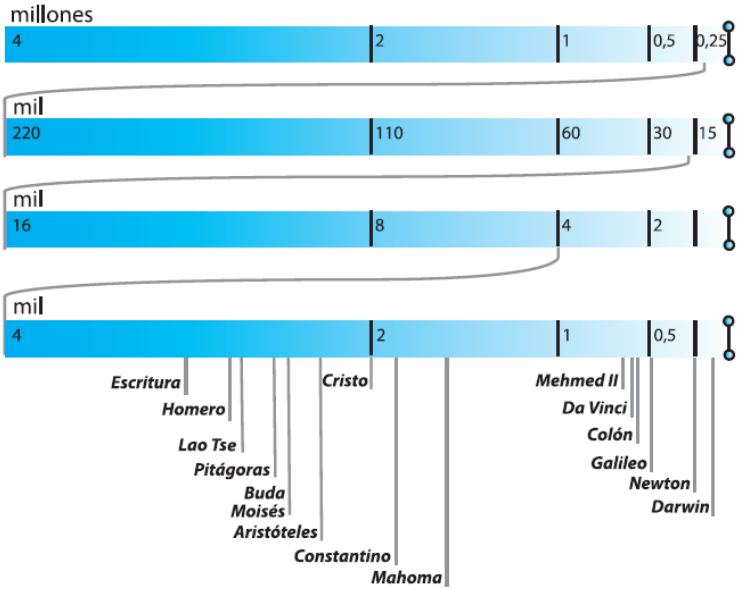
Un uno por ciento de esta última ventana temporal produce una tercera ventana, de unos 2 000 milenios. En ella la inventiva humana comienza a ser aparente. Nuestros predecesores empezaron a utilizar herramientas de piedra y el fuego fue domesticado, antes de la formación del fósil más antiguo conocido del *Homo erectus*, y de la emergencia del *Homo sapiens*, lo cual muestra que la creatividad, el desarrollo tecnológico y la inventiva, son características que pertenecieron, por lo menos, a algunos de los australopitecos y otros homínidos mucho antes de que

apareciera el *Homo sapiens*. La creatividad de los homínidos que heredamos los humanos, se desarrolló lentamente a lo largo de los últimos 5 000 milenios. Es de interés observar en estos intervalos de tiempo la extinción de otras criaturas humanoides (*Homo erectus*, por ejemplo). La extinción de otros homínidos y mamíferos (los mastodontes, por ejemplo) se debió probablemente a los crecientes poderes técnicos del *Homo sapiens* tales como la utilización de trampas, lanzas y proyectiles.

Una cuarta ventana temporal que cubre el uno por ciento de la anterior, enfoca nuestro pasado utilizando una lente de 20 milenios. Esta ventana muestra que la creatividad humana (y la extinción de criaturas compañeras en nuestro planeta) continúa acelerándose. Fueron tejidas vestimentas para proteger al cuerpo humano del medio ambiente antes de la última edad de hielo. El final de esta época promovió la domesticación de animales y plantas, lo cual condujo al desarrollo de tecnologías –hoy las llamamos agricultura y ganadería– desde hace 10 milenios hasta nuestro presente. El desarrollo de la cerámica, la rueda, hierro, bronce, acero y escrituras, siguieron a intervalos cada vez más cortos. Un avance fundamental durante este período fue el desarrollo de la escritura. El uso de la escritura nos permite disponer de una visión más directa del pensamiento de nuestros ancestros. Homero, Lao Tse, Buda, Aristóteles, Cristo, Ptolomeo, Mahoma y muchos otros pensadores nos son accesibles a partir de sus escritos o por transcripciones de sus conversaciones.

Finalmente, un 5 por ciento de esta ventana de 20 milenios enfoca nuestro último milenio. La característica principal de este milenio parece ser la emergencia del método científico. La ciencia, definida como el método que subordina la teoría a los resultados experimentales, fue promovida, entre otros, por Galileo y aceptada como una forma superior del pensamiento sólo durante los últimos tres

siglos. Otro aspecto interesante de este último milenio es un desplazamiento de la capacidad creativa desde China hacia Occidente. Las políticas nacionalistas y xenófobas de la dinastía Ming (comenzadas por Chu-Yuan-Chang en 1368) dificultaron la continuidad de intentos como los del almirante Zheng He. Los esfuerzos de este almirante en la exploración marítima y en la construcción de barcos fueron tan exitosos entre 1406 y 1433, que produjeron una cantidad de adelantos en conocimientos, tecnología y poder y los descubrimientos de África y Oceanía (quizás también América) por parte de los chinos. El miedo a la tecnología motivó la orden del emperador chino de destruir la flota del almirante He. Al abandonar las exploraciones marítimas se abortó el comercio internacional de China y se detuvo su desarrollo, que estaba siendo propulsado por la exposición a ideas y tecnologías extranjeras.



En el mundo cristiano se detecta una corta pausa (de unos pocos

siglos) en el crecimiento de la creatividad, que va desde el primer milenio de nuestra era (después de Ptolomeo y el emperador romano Juliano) hasta el Renacimiento, en superposición con algunos brotes en el mundo islámico de la época.

El último milenio no muestra signos de que la expansión exponencial de las capacidades mentales humanas se haya estabilizado. El análisis de la evolución de otras especies animales, sugiere, sin embargo, que todo desarrollo evolutivo exponencial del comportamiento o de rasgos morfológicos se detiene en última instancia. Incluso la creatividad humana podría comenzar a hacerlo en el tercer milenio de nuestra era.

La consecuencia más importante de la aparición del método científico experimental fue el acelerado desarrollo de la tecnología que a su vez disparó la "Revolución Industrial" provocando un crecimiento económico exponencial. La historia nos enseña que la ciencia define victorias. Las batallas de Austerlitz, Trafalgar e Hiroshima fueron ganadas por quienes manejaban el conocimiento científico más avanzado del momento y con mayor efectividad.

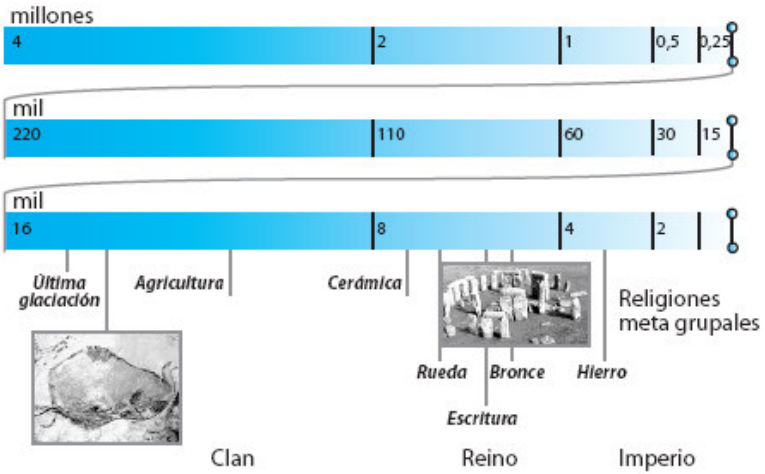
Este dilatado recorrido histórico muestra que la emergencia de la ciencia, así como la emergencia de cualquier rasgo biológico, es el producto de la evolución y que vista en una escala de tiempo logarítmica (escala que aumenta o disminuye en forma acelerada), se atrapa mejor su contexto histórico. De manera similar, las consecuencias de la emergencia de la ciencia desatan una serie de eventos que sólo pueden ser entendidos con una visión amplia dentro de una escala de tiempo logarítmica.

Creatividad e imaginación

Los protagonistas de la historia natural de la ciencia son las fuerzas creadoras de lo novedoso. Pero, ¿qué son estas fuerzas y cómo

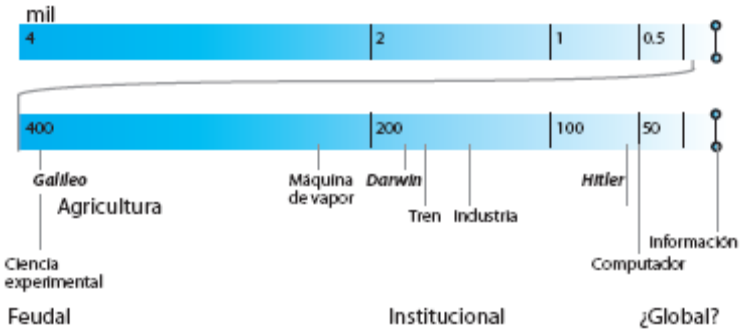
funcionan? No sabemos mucho sobre el detalle de los mecanismos que promueven la creatividad pero sí que, después de la emergencia de la ciencia, la inventiva tecnológica se ha acelerado de manera notable.

Si enfocamos los últimos cuatro mil años de nuestra historia observamos al menos tres períodos diferentes de imaginación creativa con características subyacentes distintas (ver siguiente figura). Un período centrado en la antigua Grecia, fundado en el conocimiento acumulado por los estudiosos egipcios y persas, dominó hacia el segundo milenio a.C. Este período fue seguido por otros donde la creatividad se enfocó en el desarrollo de las religiones nuevas y en maneras de promover el pensamiento místico. Es sólo en los últimos 400-500 años cuando podemos hablar propiamente de ciencia.



Este último período de avance de la creatividad centrado en la ciencia, ha demostrado ser enormemente más productivo en ideas, tecnología y crecimiento poblacional que cualquier otro período anterior. Por supuesto, es difícil saber si el método científico fue

descubierto antes en algún lugar de la Tierra. Pero si tratamos de resumir los adelantos principales del conocimiento humano y de las habilidades tecnológicas en los últimos 16 milenios (ver figura) y los comparamos con innovaciones de los últimos 400 años (ver figura siguiente), resulta difícil no reconocer el efecto específico de la ciencia, aunque esté escondido en otras similitudes y diferencias entre ambos períodos, y pese a la falta de herramientas analíticas cuantitativas para comparar estas dos ventanas temporales.



Este tipo de perspectiva nos ayuda a plantear preguntas sobre lo que es tan especial en relación con la ciencia. Los sumerios fueron muy imaginativos, y en la antigua Grecia se dieron logros intelectuales asombrosos desarrollándose tecnologías importantes y duraderas. Pero la frecuencia de las nuevas invenciones era escasa y la velocidad con que la humanidad inventaba y creaba nuevas cosas era mucho más lenta en comparación con los tiempos posteriores a la Revolución Industrial.

¿Cuáles son las diferencias entre los sabios de la antigua Grecia y un científico moderno? ¿Son estas diferencias relevantes para explicar las variaciones en el progreso tecnológico? Antes de res-

ponder a estas preguntas debemos resolver y clarificar otros temas y conceptos.

Orígenes del conocimiento: El impulso por saber

Todos los organismos han desarrollado algoritmos o series de comportamientos para interactuar con el medio ambiente a fin de aumentar sus probabilidades de supervivencia y aumentar su éxito reproductivo. Tales algoritmos han sido seleccionados mediante la evolución biológica y están codificados en las moléculas de ADN del genoma. La acumulación de tal conocimiento ha sido lograda por evolución biológica mediante la acumulación de genes con mutaciones exitosas en el genoma del organismo. Otra ruta importante para la acumulación de conocimiento ha sido mediante la adopción de moléculas de DNA de otros organismos y por la fusión de dos moléculas de DNA. Un caso famoso que conocemos es la unión de genomas diferentes por simbiosis entre organismos unicelulares que condujo a la formación de células modernas o eucariotas (células complejas con núcleo diferenciado). Las eucariotas fueron formadas por la fusión de diferentes organismos unicelulares, cada uno con su propio genoma rico en información. Algunos de los organelos dentro de una célula eucariota todavía se reconocen como bacterias primitivas, cada uno de ellos suministrando funciones que se asocian con las de otros organelos.

Otro modo de incremento de la complejidad biológica se produce históricamente mediante la fusión de los organismos unicelulares, pero conservando intactos sus cuerpos y genoma originales, agregándose para formar organismos multicelulares. La emergencia de los organismos multicelulares permitió que células individuales, por la agregación en tejidos especiales o en órganos en el organismo, se especializaran en ciertas funciones, incluyendo captación, almacenamiento y análisis de nueva información.

Los organismos más sofisticados tienen órganos, comportamientos y sistemas elaborados, lo cual les ayuda a acumular más conocimiento. Por ejemplo, las proteínas en la membrana de la bacteria reciben señales, y en el plasma celular se acumulan metabolitos como respuesta. Algunas especies de peces que viven en aguas pantanosas reciben y procesan estímulos eléctricos variados y recuerdan un tipo de señal que correlacionan con presas apetitosas. Una garrapata usa su memoria genética para producir algoritmos de comportamiento que hacen que se deje caer sobre su víctima cuando los vapores de dióxido de carbono y ácido láctico llegan a sus receptores. Todos estos sistemas trabajan, por lo tanto, con modelos simplificados de la realidad.

Los seres vivientes que interactúan activamente con su medio ambiente, como los animales, requieren de un dispositivo que les permita filtrar los estímulos relevantes del medio ambiente, simplificar la complejidad de la información que les llega, construir una versión simplificada del entorno que los rodea, ubicarse en el mismo y explorar las posibles consecuencias de diferentes acciones en ese mundo "virtual" antes de arriesgar el cuerpo real a las interacciones en la vida real. La manera en que los animales han resuelto estas tareas es desarrollando su sistema nervioso central. Es así que, antes de que los humanos existieran como tales, las fuerzas evolutivas ya habían instalado una poderosa herramienta para construir modelos y para explorar la naturaleza circundante. Esta herramienta ha sido perfeccionada en algunas especies sociales por la emergencia de la cultura (un conjunto de reglas elaboradas y almacenadas por sociedades) que fomenta el surgimiento de sinergias entre varias mentes, interactuando con experiencias complementarias del mundo.

Los mecanismos para acumular conocimiento y los sistemas para la implementación de soluciones apropiadas, no parecen ser

suficientes para que un organismo acumule conocimiento con éxito. También se requiere un instinto o impulso por saber cada vez más. En muchos organismos avanzados este impulso es especialmente fuerte cuando el animal es joven. Sin embargo, en algunos primates evolucionados, como los humanos, parece actuar una mutación que mantiene el impulso por aprender y saber más, incluso entre miembros adultos y de edad avanzada. Esta tendencia por mantener caracteres juveniles aun en etapas adultas se llama neotenismo, y puede explicar en buena medida muchas conductas.

Emergencia y evolución de la mente humana

Flinn, Geary y Ward en su artículo *Ecological dominance, social competition, and coalitionary arms races: Why humans evolved extraordinary intelligence* (*Evolution and Human Behavior, Volume 26, Pages 10-46*) afirmaron:

> "*Las habilidades cognitivas humanas son extraordinarias. Nuestros grandes cerebros son modificaciones significativas de los de nuestros parientes más cercanos, lo cual sugiere una historia de intensa selección natural. Las condiciones que favorecieron la evolución de las adaptaciones cognitivas humanas, siguen siendo un enigma. Las hipótesis basadas en las demandas ecológicas tradicionales, tales como la caza o la variabilidad climática, no han suministrado explicaciones satisfactorias. Modelos recientes, basados en la solución de problemas sociales vinculados con condiciones ecológicas, ofrecen escenarios más convincentes. Pero ha sido difícil identificar un conjunto de presiones selectivas que hayan sido suficientemente específicas para el linaje humano. ¿Qué fue aquello tan especial en los ambientes evolutivos de nuestros ancestros que les hizo –y sólo a ellos– divergir de manera tan asombrosa de sus parientes más cercanos y de otras formas de*

vida? Richard Alexander propuso una explicación integrada extensa. Él argumentó que a medida que nuestros ancestros homínidos se volvían cada vez más capaces de dominar las tradicionales 'fuerzas hostiles de la naturaleza', las presiones selectivas resultantes de la competición entre individuos de la misma especie se volvían cada vez más importantes, particularmente en relación con competencias sociales. Dada la precondición de competitividad dentro de coaliciones basadas en parentesco y reciprocidad (compartidas con chimpancés), se inició una 'carrera armamentista' autocatalizadora, que al final resultó en los rasgos característicos de la especie humana, tales como la ovulación oculta, cuidado extensivo por ambos progenitores, sociabilidad compleja y una colección extraordinaria de habilidades cognitivas. Llamamos a este escenario el modelo EDSC ('ecological dominance–social competition') y valoramos la viabilidad del modelo a la luz de desarrollos recientes en paleoantropología, psicología cognitiva y neurobiología. Nosotros concluimos que, pese a que las comprobaciones fuertes y directas son difíciles con los datos disponibles, el modelo de Alexander provee una explicación integrada de largo alcance para la evolución de las habilidades cognitivas humanas".

Varios autores han afirmado que la mente humana evoluciona y que esta evolución es responsable de los fenómenos del agregado humano proporcionando el *Volksgeist* de una era. Hegel, Compte y Marx meditaron sobre esta posibilidad y la consideraron central en sus teorías. A la luz de nueva información sobre la evolución y la neurofisiología de los humanos, podemos identificar varias etapas evolutivas y transiciones que han ocurrido a lo largo de los últimos 50 000 años en la historia de *Homo sapiens*. Otras etapas pueden detectarse en la aún más larga historia evolutiva de los homínidos.

Gracias a la decodificación del genoma humano y el de otros primates, podemos ahora identificar un número importante de caracteres genéticos, que emergieron evolutivamente en tiempos muy recientes, y que siguen en proceso de evolución. Varios de estos caracteres están relacionados con el desarrollo de nuestro cerebro, otros con receptores gustativos, y para muchos otros no hemos podido asignar todavía una función específica.

Al analizar la historia evolutiva de los primates, podemos reconocer algunos hitos importantes en la evolución de nuestra propia inteligencia. Uno es la emergencia de lo subjetivo: el reconocimiento de que el yo es parte del todo pero diferente del otro. La introducción del sujeto en los modelos elaborados por nuestras mentes, mejoró su precisión y eficiencia y se piensa que ello ha representado una piedra angular en la evolución humana (el descubrimiento del yo puede haber ocurrido en otras especies no-humanas en la Tierra). Otros hitos incluyen la aceptación de reglas lógicas; la construcción y uso de modelos mentales; la inclusión del sujeto en el modelo; la habilidad de tener empatía, de imaginarse a uno mismo dentro de la piel de otros; la conciencia de que otro sabe lo que yo sé; el análisis de las acciones del sujeto y las de otro individuo mediante modelos; la formalización de estos fenómenos y la descripción taxonómica del mundo; la formalización analítica de modelos utilizando matemáticas y el uso de computadores para resolver modelos numéricos y realizar simulaciones en mundos virtuales.

Lo que estas percepciones implican es que las capacidades cognitivas humanas han surgido y crecido como un producto de la evolución humana y como un rasgo adaptativo necesario. El camino exacto de este desarrollo nos quedará oculto por muchos años. Sin embargo, en la figura de la siguiente página, esbozamos un esquema de la emergencia de la ciencia que podría suministrar

algunas ideas heurísticamente útiles.

El lenguaje, los contactos sociales y la comunicación han sido de especial importancia para la evolución del cerebro y para el desarrollo de nuestras capacidades mentales. Ignoramos los detalles de esta evolución, pero cualquiera que haya sido la ruta precisa que tomó, una habilidad fundamental que tuvimos que adquirir en un momento dado es la de modelar y representar una versión abstracta y simplificada de la realidad en nuestras mentes.

La inteligencia humana, sin embargo, como cualquier otra función orgánica, tiene sus limitaciones. Ella se desarrolló por una larga evolución biológica y refleja las necesidades y limitaciones del mundo macro-físico con el cual interactuaron nuestros antecesores. Estas dos características causan un desfase continuo entre las adap-

taciones conductuales y los requerimientos del ambiente físico y sociocultural. Por ejemplo, el cerebro, junto con nuestros sentidos para la detección de la fuerza de gravedad, está adaptado a manejarse dentro de un rango pequeño de intensidades de gravedad, las que existen sobre la superficie de la Tierra. Sin embargo, el desarrollo tecnológico reciente expone a seres humanos a fuerzas gravitacionales mucho más intensas (las que sentimos en aviones veloces o en barcos navegando en mar bravo) , o muy débiles (en las estaciones espaciales). Otro ejemplo lo podemos encontrar en el manejo de nuestro sistema nervioso en cuanto a la percepción de la luz. Estamos familiarizados con una ventana pequeña de la radiación electromagnética (luz visible) y un pequeño rango de tamaños de objetos (los visibles para nuestros ojos). No vemos los rayos ultravioletas ni infrarrojos y nuestra vista no detecta objetos mucho menores de un milímetro. En cierto sentido, la mente refleja el mundo con el cual el organismo había interactuado en el pasado (ver: *Die Rucksite des Spiegels –Detrás del espejo–* de Konrad Lorenz), y usa esa percepción para modelarlo con éxito.

Nuestra mente se ha beneficiado de las interacciones evolutivas con las de otros humanos, y aún lo hace. Es un producto social y no sólo de la interacción con el ambiente físico. Pero las mentes de otras especies vivientes también han influenciado a las nuestras. El progreso de la evolución humana puede ser visto como el desarrollo de nuevas simbiosis entre las plantas y animales domesticados y nosotros. El establecimiento de la agricultura y la cría de ganado produjeron cambios en el comportamiento humano y afectaron a la cultura humana de maneras fundamentales. Por supuesto que esta simbiosis con plantas y animales también afectó los caracteres de los organismos domesticados.

Evolución de la racionalidad: La mente modeladora

> *...En aquel Imperio, el arte de la cartografía logró tal perfección que el mapa de una sola provincia ocupaba toda una ciudad, y el mapa del Imperio, toda una provincia. Con el tiempo, esos mapas desmesurados no satisfacieron y los Colegios de cartógrafos levantaron un mapa del Imperio que tenía el tamaño del Imperio y coincidía puntualmente con él. Menos adictas al estudio de la cartografía, las generaciones siguientes entendieron que ese dilatado mapa era inútil y no sin impiedad lo entregaron a las inclemencias del sol y de los inviernos. En los desiertos del oeste perduran despedazadas ruinas del mapa, habitadas por animales y por mendigos; en todo el país no hay otra reliquia de las disciplinas geográficas. Suárez Miranda: Viajes de varones prudentes, libro cuarto, cap. XLV, Lérida, 1658.*
>
> *Del rigor de la ciencia*. J.L. Borges

Atrapar la realidad objetiva no es una tarea simple. Como escribió Hermann Weyl (1885-1955) en su *Filosofía de las matemáticas y de las ciencias naturales*: "El mundo objetivo simplemente es, no ocurre. Sólo para la mirada de mi conciencia, reptando a lo largo de mi horizonte corporal, es que una sección de este mundo adquiere vida como una imagen flotante en el espacio que cambia continuamente con el tiempo".

El pensamiento racional se ha desarrollado como una adaptación para atrapar la realidad objetiva en la cual vivimos y con la cual interactuamos. Este no es monopolio de los humanos. El diseño de una estrategia de caza por un león, o la concepción de una ruta de escape en el dosel de la selva por un mono, requiere percepción, cálculo y planificación.

En la Edad de Piedra y aun mucho antes, la mente humana ya tenía

la habilidad de reconocer ciertas regularidades en su entorno y fue capaz de producir abstracciones de la realidad. Las evidencias más antiguas sobre esto, como la habilidad de reconocer y utilizar leyes geométricas básicas, están en los dibujos de animales y partes corporales en las antiguas pinturas rupestres, muchas de ellas pintadas hace más de 70 000 años. En ellas se muestran exquisitas abstracciones de animales, que de manera perfecta informan, con unas pocas líneas, sobre el tipo de especie y su comportamiento.

Pinturas de la cueva de Altamira, España, de aproximadamente 15 000 años de antigüedad

Estos mismos dibujos rupestres sugieren que un paso importante en la evolución de la racionalidad humana fue imaginar una abstracción o modelo del mundo, o al menos del entorno inmediato que incluía animales de caza y otros. Este modelaje permitió enseñar, comunicar, diseñar y planificar la preparación de la cacería en grupos. La habilidad de realizar cacerías cooperativas bien afina-

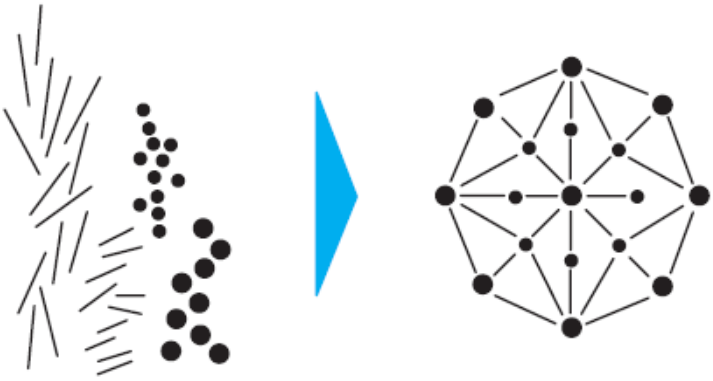
das, unida al diseño racional de instrumentos de caza dio a los humanos la supremacía sobre todas las bestias cazadoras en la naturaleza. Estos dibujos también pudieron haber servido a los habitantes de la cueva como un simple ejercicio de empatía o para aprender a copiar normas de organización social de los animales.

De allí en adelante, los modelos mentales crecieron y aumentaron en complejidad, creando y perfeccionando, entre otras cosas, el lenguaje, la gramática, las religiones y las visiones del mundo.

Otro paso más, logrado por la filosofía más antigua que conocemos, la de Sumeria en la antigua Mesopotamia, llevó inclusive a exagerar la importancia de los modelos mentales. Los sumerios asignaban más importancia a los modelos que a la realidad. Esto se refleja en el hecho de que los modelos verbalizados de la realidad se vuelven más importantes que la realidad misma. Las palabras comienzan a tener un poder capaz incluso de cambiar la realidad, al menos según es percibida por sus modelos verbalizados, en la mente de los humanos. La palabra crea realidad, o, como se afirma en la Biblia, al principio fue la palabra. Los sumerios, como en la actualidad lo hacen muchos humanos, supusieron que la palabra de los dioses era suficiente para crear vida y seres en general. Es el verbo expresado en leyes y decretos, a veces decretado por dioses y reyes, el que construye la realidad social.

Sin embargo, aun en la antigua Sumeria, algunos humanos escépticos se resistían a creer sólo en las palabras y extrajeron sabiduría de la experiencia, la observación y los experimentos. Pero no fue sino hasta los tiempos de Galileo cuando el experimento conscientemente se colocó por encima de los modelos verbales y del pensamiento humano. Esto marcó el verdadero comienzo de la ciencia como una fuerza social impulsora.

Un modelo, si se lo conceptualiza como una herramienta del pensamiento, es un mecanismo por el cual se somete a prueba la consistencia de un conjunto de suposiciones y se exploran las consecuencias de sus posibles interacciones. En el ejemplo visual de modelado que vemos en la siguiente página, la esfera de la derecha muestra que puede ser construida con los componentes representados en la parte izquierda de la figura. Sin embargo, para comprobar y explorar las propiedades de esta esfera, tales como su dinámica cuando rueda, o las propiedades de flotación, no es suficiente conocer las de las partes que la componen, dado que muchas de sus propiedades "emergerán" de las interacciones de esas partes. De esta manera, el modelado, en el sentido de construcción en el espacio virtual, nos permite explorar por lo menos algunas de estas propiedades emergentes con mucho menos esfuerzo, en menos tiempo y a menor costo que el requerido para construir efectivamente la esfera con componentes reales. Los modelos pueden ser considerados, por lo tanto, como herramientas con las cuales es posible materializar y poner a funcionar las ideas, guiando nuestras acciones futuras y reduciendo riesgos y costos.



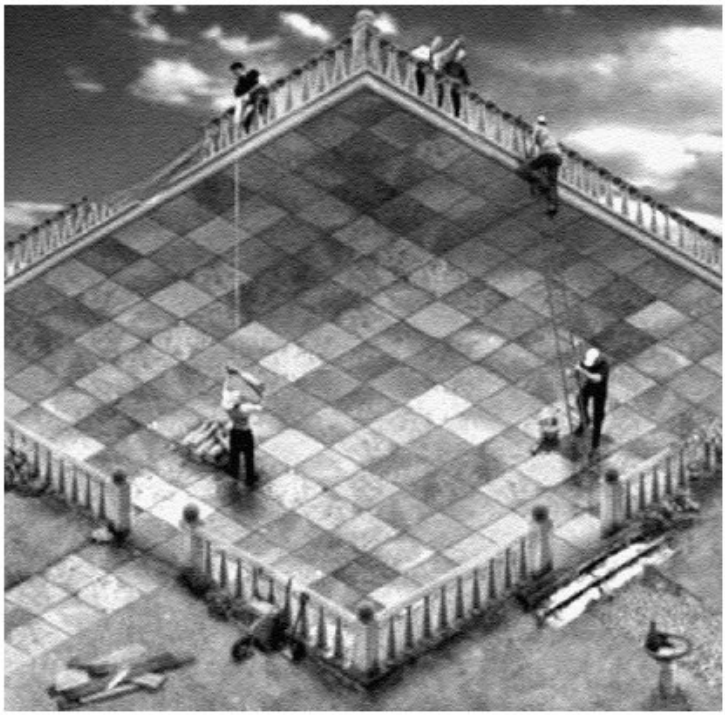
Dibujo de Alida Ribbi

El mundo es complejo y es necesario desarrollar, con mayor o menor éxito, modelos mentales que ayuden a entenderse con esa complejidad. Estos modelos mentales, de acuerdo con Kenneth Craik (*The Nature of Explanation*), constituyen o bien una manera de pensar, o bien son una manipulación interna de representaciones de cómo funciona el mundo. Dado que no somos suficientemente inteligentes como para asir, en nuestras imaginaciones, la realidad existente, debemos trabajar con representaciones simplificadas o modelos. Los buenos modelos representan, entonces, una percepción mejorada de por qué los sistemas reales, mucho más complejos, se comportan de la manera como lo hacen.

Los límites de la percepción y del pensamiento

El pensamiento moderno y especialmente la ciencia, nos demuestran que nuestras percepciones son muy limitadas, distorsionadas y que con frecuencia conducen a errores. Somos ciegos a las altas frecuencias de la luz (por encima del ultravioleta) y a las bajas frecuencias de las radiaciones (infrarrojo y radio); somos sordos al

ultrasonido y a los sonidos de baja frecuencia; somos anósmicos (no percibimos el olor) de una cantidad de sustancias volátiles; somos incapaces de entender eventos infrecuentes de gran impacto y compararlos con los riesgos asociados con eventos muy probables de bajo impacto (por ello nos hacemos adictos al juego del azar); insistimos en asignar relaciones causales a eventos aleatorios y somos muy malos para analizar un mundo en el que sentimos que somos el jugador principal. Dicho de una forma simple, no somos muy objetivos en nuestras visiones racionales. Estas limitaciones y muchas más, moldean nuestras mentes y restringen nuestros pensamientos, sobre todo cuando analizamos aspectos de la realidad que no están relacionados con la alimentación, reproducción u otras actividades seleccionadas biológicamente por su valor de supervivencia.



Son numerosos los ejemplos de cómo nuestras limitadas habilidades para percibir y procesar la realidad afectan a nuestra vida diaria. El jugar a la lotería, por ejemplo, no puede ser justificado por ningún argumento racional, y sin embargo una gran cantidad de gente se involucra en juegos, compra de lotería y otras actividades irracionales, aun cuando las probabilidades están en contra.

Otro ejemplo es reír o poner cara de enojo cuando uno habla por teléfono. Si bien nuestra cara no puede ser percibida por el interlocutor, nuestra conversación no puede disociarse de nuestras emociones y expresiones faciales.

La economía está llena de ejemplos del comportamiento irracional

humano. Herbert Simon, Daniel Kahneman, Ernst Fehr y muchos otros han dedicado sus vidas al estudio y comprensión del comportamiento económico irracional de los seres humanos. Por ejemplo sabemos que le damos más importancia a la pérdida económica que a la ganancia y que preferimos cosechar beneficios inmediatos ya que tenemos dificultad en calcular los beneficios a futuro.

Una limitación famosa del pensamiento humano es la curva de aprendizaje. Esto es, todo individuo necesita un tiempo para poder aprender algo y ese tiempo puede variar entre individuos. Ello implica que también existe una curva de olvido. Esto es, existen diferentes niveles de conocimiento y, además, debemos descartar lo que pensamos que ya sabemos para saber más. Y cuanto más profundamente escarbamos en el campo del conocimiento, más difícil resulta mantener coherencia con la información recordada. Un término psicológico clásico llamado "ceguera de desatención" ilustra el punto. Proviene de un experimento donde se pide a la gente que mire un video de un juego de basket-ball y que cuente el número de pases. A mitad del juego un gorila entra por una puerta y sale por otra, pero la mayoría de los televidentes no lo ve. Cuando se le dice a la gente que se concentre en una cosa, con frecuencia no ve algo que no estaba en el plan original. Este experimento psicológico clásico ilustra el punto de que cuando la gente ha adquirido una cierta cantidad de conocimiento, se vuelve ciega para vistas y hechos nuevos, pues todo es filtrado por la experticia. Los "gurús" de la gerencia llaman a esto incapacidad educada. Mientras más sabe alguien, más difícil le resulta ver algo nuevo. Por tanto, la experticia y la especialización limitan el descubrimiento de nuevas características y nuevas leyes de la naturaleza.

Filosofía de la ciencia

> *Lo que encontramos en la filosofía de la ciencia es trivial; ella no nos enseña hechos nuevos, sólo la ciencia lo hace. Pero la sinopsis apropiada de estas trivialidades es enormemente difícil y tiene una inmensa importancia. La filosofía es, de hecho, la sinopsis de trivialidades... En filosofía no estamos, como el científico, construyendo una casa. Ni tan siquiera echando las fundaciones de una casa. Estamos meramente "arreglando un cuarto".*
>
> Ludwig Wittgenstein, 1930

¿Cuánto más rápido y eficiente sería el arreglo del cuarto si fuera hecho por alguien que viviera en él? Aunque la ayuda externa es siempre bienvenida, arreglar un cuarto multidimensional no es tarea fácil. Es quizás el momento en que investigadores experimentales de diferentes disciplinas incursionen un poco en filosofía.

Como se mencionó en la introducción, al analizar los fenómenos científicos a través del lente de los descubrimientos de la física, la filosofía de la ciencia ha tratado de entender el funcionamiento de ésta última. Sus contribuciones más importantes son las siguientes: el progreso científico es discreto más bien que continuo (Thomas Kuhn: *The Structure of Scientific Revolutions*); demostrar que una teoría científica es errónea es mucho más importante, para el progreso científico, que mostrar su validez (Karl Popper: *Logik der Forschung*); la dinámica científica no puede ser planeada con antelación ni controlada desde fuera de ella (Paul Feyerabend: *Against Method*). Curiosamente, estas percepciones son análogas a lo que conocemos como los principios impulsores en la evolución biológica: la evolución sufre catástrofes y se caracteriza por interrupciones, a las que siguen estallidos de diversificación (Stephen Jay Gould); la evolución es propulsada por la selección

natural que descarta las soluciones o formas de vida no exitosas (Charles Darwin); los eventos al azar y la naturaleza aleatoria de las mutaciones son los motores del progreso evolutivo (Gregor Mendel).

Los intentos de los filósofos Georg Wilhelm Friedrich Hegel, Immanuel Kant, Francis Bacon, George Berkeley, Bertrand Russell y Ludwig Wittgenstein, entre otros, para comprender a la ciencia, han tenido éxito en modelar el *Zeitgeist* (espíritu de su tiempo) y la perspectiva humana del mundo, pero poco impacto en la implementación instrumental de la ciencia. Estos filósofos intentaron comprenderla basados en la pura capacidad mental más bien que en la aplicación del método científico y por eso fracasaron en comprender la heurística subyacente de la ciencia. Parecería que hace falta un vaquero tejano para comprender con suficientes detalles al Lejano Oeste y un verdadero marinero para entender los sutiles y diferentes desafíos de la navegación por un océano. Sin embargo, la experiencia (o la falta de ella) no ha significado una limitación para la humanidad. La falta de conocimiento de Texas no impide a personas sin experiencia como vaqueros, escribir sobre éstos; ni a escritores, que nunca han puesto el pie en un barco, especular sobre los peligros de navegar en alta mar. La fantasía es importante y juega su papel en cualquier búsqueda del conocimiento puesto que facilita la construcción de modelos mentales de nosotros mismos y de nuestras interacciones con el mundo. Pero sin ninguna otra ayuda mental, la fantasía es limitada. Este mismo razonamiento debería ser aplicado, con mayor fuerza lógica, a empresas humanas complejas tales como la ciencia. Es decir, es improbable que la filosofía por sí misma, sin el aporte de la experimentación o comprobación empírica, llegue alguna vez a una comprensión profunda de la ciencia.

Sociólogos, filósofos y pensadores de la ciencia, a menudo no

escriben sobre la ciencia y su método, sino sobre el análisis que hicieran otros acerca de ésta. Sorprendentemente, se ha escrito tan poco sobre el método científico, que pareciera que muchos estudiosos suponen que la ciencia y su método constituyen un tema cerrado y terminado, que no requiere agregados.

Una buena manera para comprender a la ciencia es a través de su historia y muchas han sido escritas desde los tiempos de Galileo (ver, por ejemplo, Kuhn, Popper, Shumpeter, Feyeraben, Lakatos). No deseo explorarlas aquí y aconsejo al lector que busque a estos autores y a otros para un análisis extensivo de la historia de la ciencia. Aquí quiero comprender a la ciencia desde el punto de vista de un científico moderno. Quiero que el lector mire a la ciencia desde un mesón de laboratorio y no desde las alturas de constructos intelectuales elaborados sin contacto con la cotidianidad del investigador científico.

Desplazamientos de paradigmas

Las ideas son importantes como guías del pensamiento y de la acción humana. Éstas persisten por largo tiempo, de manera que muchas ideas viejas se encuentran todavía entre nosotros. El siglo XIX fue fuertemente influenciado por ideas expresadas por primera vez en el siglo XVIII. Hume, Voltaire, Adam Smith y Kant marcaron el liberalismo del siglo XIX. De la misma manera Hegel, Comte, Feuerbach y Marx influenciaron el ascenso del totalitarismo en el siglo XX. Otras ideas que moldearon nuestra cultura fueron de un tipo más fundamental y, por lo tanto, más lentas en impregnar el pensamiento. El hallazgo de Galileo sobre las limitaciones de nuestros sentidos y la necesidad de experimentos para evitar las trampas y restricciones que la mente impone a nuestra comprensión de los fenómenos que nos rodean, todavía no ha calado en muchas personas. Lo mismo sucede, por

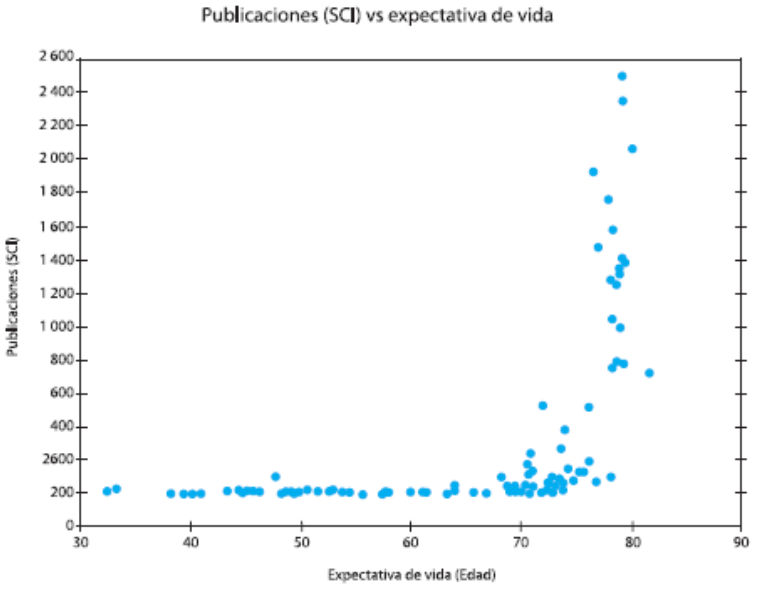
ejemplo, con la comprensión de la evolución biológica, obtenida por los esfuerzos intelectuales de Jean-Baptiste Lamark, Alfred Russell Wallace, Charles Darwin y muchos otros, y a través de la evidencia experimental de genios como Leonardo da Vinci.

Repito, el funcionamiento de la ciencia ha sido estudiado en gran parte por filósofos y sociólogos y, más recientemente, también por antropólogos. Los científicos alegan que la ciencia no puede ser aprendida a través de libros de texto, sino que requiere un entrenamiento largo e intensivo en el laboratorio o en el campo, para que sus practicantes adquieran una visión preliminar del método científico y se inicien en su práctica. Espero que este sea el momento propicio para intentar lo que parece una redundancia: un análisis más científico de la ciencia.

Analicemos la ciencia utilizando su propio método. Imaginemos que los humanos fueran estudiados por un biólogo marciano. Es probable que se preguntase cuál es el valor adaptativo de la ciencia para los humanos. Podría intentar investigar si ésta aumenta la adecuación biológica (*fitness*) del individuo. Si encuentra una correlación positiva, podría indagar si este incremento en adecuación biológica es alcanzado por medio de fuerzas selectivas que actúan sobre el individuo o sobre el grupo. Esto es precisamente lo que deseamos responder a continuación.

La adecuación biológica puede ser medida de muchas maneras diferentes. Para un biólogo que estudia la evolución, los componentes más importantes a tomar en cuenta son la fertilidad y la longevidad. Sin embargo, la fertilidad, en una situación ecológica de sobrepoblación es de poca utilidad y no es apropiada para medir la adecuación biológica en poblaciones humanas densas y superpobladas. La longevidad parece ser el mejor indicador para la adecuación biológica en poblaciones humanas modernas. El

gráfico siguiente muestra cómo la longevidad, medida como la esperanza de vida de niños nacidos en 2000-2005 (de acuerdo con el Informe sobre Desarrollo Humano de las Naciones Unidas publicado en 2005) en un determinado país, está correlacionada con la actividad científica de ese país (medida por el número de publicaciones per cápita para 2003 según informa el SCI-Thomson Scientific). Cuanta más actividad científica se evidencia en un país, más larga es la vida de sus ciudadanos, aun cuando incrementos muy pequeños de la longevidad promedio de una nación se corresponden con grandes incrementos del desarrollo científico. Podemos, entonces, afirmar que el grado y extensión de la actividad científica se relaciona de forma neta, aunque no lineal con la longevidad, el componente más relevante de la adecuación biológica para los humanos modernos.



Muchos otros factores en la sociedad humana moderna se correlacionan con la adecuación biológica. La correlación clásica es, por supuesto, con la riqueza individual promedio. El grado de desarrollo científico en una sociedad está relacionado fuertemente con el ingreso promedio per cápita, como ocurre con otras actividades intelectuales humanas tales como la investigación en ciencias sociales y humanidades, la producción de películas, educación, etc. Puede suponerse que todas estas características son indicadores directos o indirectos de la adecuación humana. La ciencia, sin embargo, es la que muestra, entre todas ellas, la correlación más fuerte con la riqueza individual promedio.

En la tabla siguiente presento los coeficientes de correlación entre los indicadores per cápita para la riqueza económica suministrados por el Banco Mundial. Estos son: Producto Doméstico Bruto en Capacidad de Compra (Purchasing Power Parity) o PDB, Índice de Desarrollo Humano, Inversión en Investigación y Desarrollo como % del PDB, e índices para la productividad científica y artística para 44 países seleccionados. Los índices para la productividad científica fueron: número de publicaciones que produce cada país en las ciencias biológicas y médicas registradas en la base de datos PubMed de la Biblioteca Nacional de Medicina en los Estados Unidos; el número de artículos científicos que los investigadores publican en cada país, recolectados por Thomson ISI en ciencias naturales, ciencias sociales y en artes y humanidades, y el número de películas de todo tipo producidas en el país según registro de la base de datos International Movie Data Base. Estos números fueron recabados para el año 2003 y divididos por el número de habitantes de cada país para obtener un índice per cápita. (Los coeficientes de correlación marcados en negro son significativos para el nivel $p<0.01$). Estos datos muestran que los países ricos producen más ciencia, lo cual indica que ciencia y riqueza están

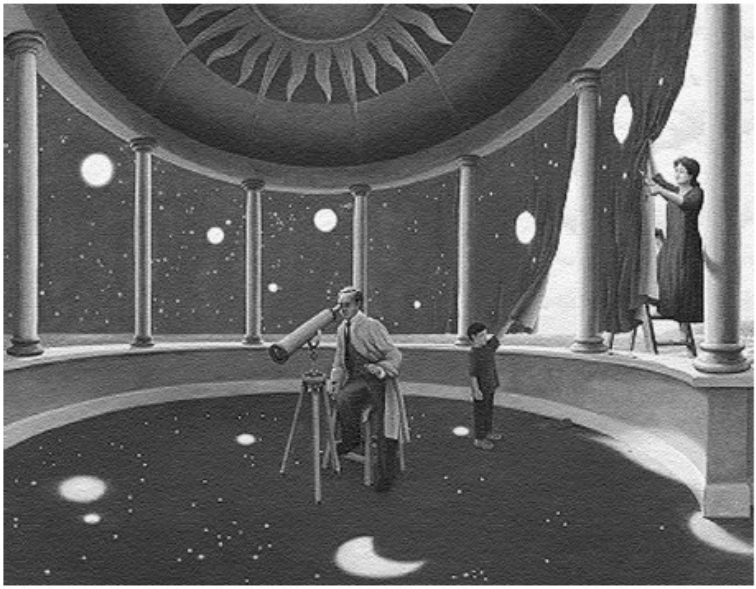
altamente correlacionadas (índice de correlación de 0.93). Todas las demás variables mostraron coeficientes de correlación positivos significativos con el PDB/per cápita, pero más bajos, lo cual indica que se relacionan de manera menos fuertemente con la riqueza en comparación con la ciencia.

Correlaciones entre una selección
de variables en diferentes países

Datos de 2003	**Producto Territorial Bruto**	**Índice de Desarrollo Humano**	**Inversión en Investigación y Desarrollo**
Publicaciones en *PubMed* per cápita	**0,93**	**0,64**	**0,61**
Publicaciones en *Science Citation Index* per cápita	**0.93**	**0,69**	**0,66**
Publicaciones en *Social Science Index* per cápita	**0,61**	**0,42**	**0,49**
Publicaciones en *Arts and Humanities Index* per cápita	**0,61**	**0,40**	**0,49**
Películas per cápita	**0,73**	**0,59**	**0,51**

La ciencia no sólo afecta a nuestra adecuación social (PTB, esperanza de vida, etc.) sino que está en el corazón de nuestra sociedad tecnológica moderna. Cabe preguntarse qué es aquello tan específico de la ciencia que la hace más fomentadora de la adecuación biológica que otros constructos intelectuales humanos. En la sección próxima trataremos de responder a esta cuestión utilizando un enfoque analítico principalmente basado en el pensamiento evolutivo.

EL ASCENSO DE LA CIENCIA EMPÍRICA



The astronomer de Rob Gonsalves

Las raíces de la lógica

Volvamos a las ventanas temporales. Ahora invito al lector a abrir

una ventana temporal más reducida, que nos permita ver la historia de la humanidad durante los últimos 3 000 años. Durante esta época, las ideas y modelos mentales pueden ser leídos directamente en documentos que sobrevivieron a quienes los escribieron. Podemos saber de nuestros ancestros sin necesidad de especular sobre lo que querían decir o lo que pensaban, ya que tenemos sus pensamientos, o al menos parte de ellos, en nuestras manos y podemos leerlos directamente en sus textos

Los sabios clásicos griegos tenían dotes que son la envidia de muchos científicos modernos y que podrían ser consideradas como las características de un buen científico: pensamiento crítico y lógico, descripciones precisas, análisis racional de hechos e ideas, ingeniosidad extrema e inteligencia. Sin embargo, ninguno de los sabios griegos produjo un método de búsqueda de conocimiento que pudiera ser llamado ciencia experimental, aunque algunos estuvieron muy cerca. ¿Qué les faltaba para ello?

La respuesta a esta pregunta es fundamental para entender la naturaleza de la ciencia moderna. Antes de intentar proporcionarla debemos, primero, introducir algunos conceptos adicionales.

Inducción, deducción y pensamiento racional

Los dos métodos de pensamiento más ampliamente conocidos son la inducción y la deducción.

Para David Hume (1711-1776), Max Born (1882-1970), Karl Popper (1902-1994) y muchos otros, la inducción, aun cuando es fundamental para la ciencia, tiene sus límites. Born escribió que "…ninguna observación o experimento, por más extenso que sea, puede dar más que un número finito de repeticiones; por lo tanto, el enunciado de una ley –B depende de A– siempre transciende la experiencia". Este razonamiento inductivo forma la base de

cualquier ciencia.

La deducción, por otro lado, es una secuencia de enunciados tales que cada uno de ellos puede ser derivado de los anteriores. Con base en una observación o en un enunciado, la mente racional, utilizando la deducción, puede construir una serie de enunciados racionales. El límite de la deducción es que deja abierto el interrogante de cómo probar que el primer enunciado es correcto. Por más que intentemos, no podemos basar el razonamiento en primeros principios objetivos utilizando sólo la deducción.

Estos procesos racionales que conducen de lo general a lo específico o de lo específico a lo general son la base de todo razonamiento. Incluso los animales muestran rudimentos de esta clase de método. Por ejemplo, la deducción, en el lenguaje del juego predador-presa, se podría manifestar por una forma que se aproxima y que rápidamente se vuelve más grande, lo cual hace que el observador deduzca que el objeto se aproxima, que es grande y que es peligroso. El observador deduce que el objeto que se aproxima de forma veloz es probable que sea un predador algo peligroso y, por tanto, debe ser evitado. Por otra parte, los objetos que se vuelven más pequeños, son aquellos que se alejan, que huyen, y por ello es posible que sean presas que tratan de escapar. La aplicación de la inducción nos permite extrapolar a partir de la experiencia anterior, que los organismos grandes pueden ser fuertes y peligrosos, podrían ser predadores y es aconsejable evitarlos. Así pues, tanto inducción como deducción simplifican el número de relaciones que debemos manejar y nos ayudan a abstraer la dinámica de la realidad.

Ambas formas de pensamiento están basadas en la presunción, común desde Aristóteles, pasando por los doctos de la Edad Media y Tomás de Aquino, hasta muchos intelectuales modernos, de que

nuestra inteligencia es la fuente de la verdad que precede a la experiencia, y que es capaz de comprender los fenómenos terrestres y ultraterrestres, desde el funcionamiento de la naturaleza hasta la existencia de Dios. Esta presunción es llamada a menudo racionalismo filosófico y está apoyada en la creencia de que la razón humana es la única fuente legítima de nuestro conocimiento.

Para que seamos capaces de producir pensamiento racional útil basado en gran cantidad de experiencias e informaciones, tenemos que clasificar los objetos de estudio de acuerdo con propiedades que sean fácilmente detectables y reconocibles. Clasificar a los objetos que se alejan de nosotros como presas y a los que se mueven hacia nosotros como predadores, simplifica nuestra visión del mundo, permitiéndonos desarrollar respuestas de comportamiento que pueden ser activadas de forma rápida y eficiente. En algunos casos nuestras simplificaciones pueden conducirnos a cometer errores, dado que son sólo una cruda aproximación de la realidad, una abstracción. Esta tarea, realizada sistemática y metodológicamente se llama Taxonomía, y quienes se dedican a ella saben que sus clasificaciones son sólo aproximaciones a la realidad, que siempre contienen errores. Por ejemplo, es bien sabido que nuevos descubrimientos de especies fósiles o vivientes cambian el conocimiento taxonómico, produciendo explicaciones totalmente nuevas de la historia filogenética de la especie en estudio. Estas clasificaciones, a pesar de ser un ejercicio puramente mental, son indispensables para fundamentar otras ciencias como la ecología y otras áreas de la biología.

La acumulación de conocimiento algunas veces ocurre fortuitamente. A pesar de los esfuerzos de racionalización de la realidad, ya sea por la clasificación taxonómica, por razonamiento inductivo o deductivo, o por hacer modelos de la realidad y sus interacciones, no siempre se obtienen nuevos conocimientos. El razonamiento

será de utilidad sólo si planteamos interrogantes concretas a la naturaleza. Si, por ejemplo, queremos estudiar el péndulo, en primer lugar debemos saber cuáles preguntas habría que plantear. Tomando en cuenta la naturaleza multidimensional de la realidad, podríamos estar interesados en la aleación metálica que produce objetos densos y rígidos con los cuales construimos péndulos; en la forma aerodinámica de la masa del péndulo para reducir la fricción con el aire; o tal vez en el movimiento que produce oscilaciones regulares. Es decir, la pregunta que hagamos define la dimensión racional a ser explorada así como la taxonomía y el tipo de razonamiento a utilizar.

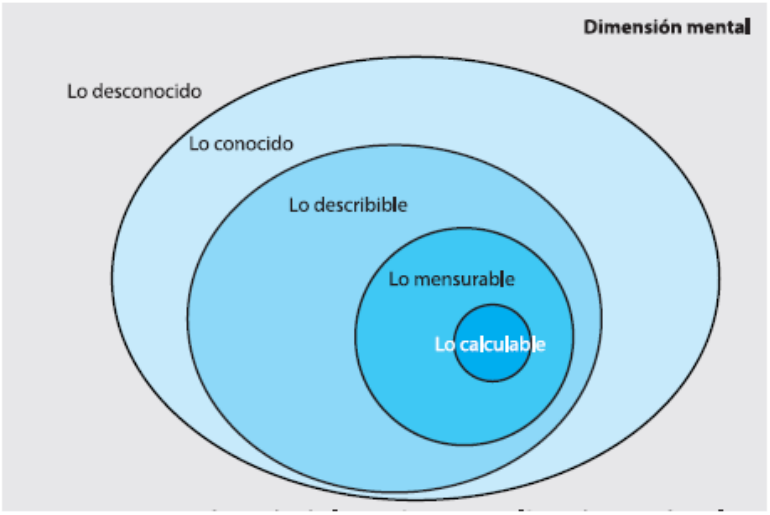
No siempre es posible, sin embargo, avanzar en el conocimiento de la realidad utilizando el razonamiento, pues no toda la realidad es susceptible de análisis racional. El análisis psicoanalítico, la toma de decisiones políticas, o aun la simple socialización en una reunión, son actividades que no han mejorado mucho en el tiempo con el razonamiento racional.

Niveles de lo conocible

La relación con el mundo que nos rodea es muy diversa. Algunos fenómenos y objetos pueden ser percibidos por nuestros sentidos mientras que otros no. Nuestro cerebro está entrenado para entender y seguir cierta clase de redes de relaciones, tales como las cadenas de causa-efecto mecánicas, en tanto que otras no lo son: cascadas aleatorias, riesgos compuestos, redes no lineales, fenómenos multidimensionales, etc.

El psicoanalista Ricardo Palma propuso una representación gráfica de los dominios que relacionan la mente con el mundo a su alrededor. Cada esfera o dominio requiere herramientas mentales diferentes. El instinto, la intuición y una gran dosis de autoestima nos

ayudan a abordar lo desconocido. Las habilidades verbales y literarias nos permiten encarar lo descriptible y lo conocible con nuevas palabras y metáforas. El pensamiento científico racional nos faculta para explorar lo medible y lo predecible.



Adaptado de la teoría psicoanalítica de Ricardo Palma

Las transiciones entre dos esferas consecutivas nos dan una percepción de los avances en las capacidades cognitivas humana. Estas transiciones podrían correlacionarse con aspectos fundamentales de nuestro pensamiento. La transición de lo desconocido a lo conocido, por ejemplo, apela a la "conciencia" mental, esto es, al hecho de percibir o conocer la existencia de algo.

La transición de lo conocido a lo descriptible requiere de un modelo, aunque sea rudimentario, del objeto conocido. La descripción

de algún objeto implica la asignación de propiedades y el uso de palabras que relacionan el objeto con otros conocidos por medio del descubrimiento de similitudes o diferencias. Esta transición implica un ejercicio de taxonomía y de contextualización. La clasificación taxonómica permite colocar objetos, fenómenos y conceptos en categorías abstractas que conducen a descripciones mejores. Cuanto mejor sea la discriminación taxonómica, más fina será la descripción.

Avanzar desde la descripción de un objeto a la medición de algunas de sus propiedades implica un paso heurístico fundamental hacia la descripción más cuantitativa. Este nuevo paso admite una taxonomía más científica y una replicabilidad de observaciones susceptibles de experimentos y exploraciones científicas.

La transición de lo medible a lo predecible implica la construcción de modelos predictivos detallados basados en teorías falsables que pueden ser expresadas en un idioma formal (matemática o numéricamente) y que se encuentran en el centro del esfuerzo científico moderno.

Nuevas herramientas analíticas, nuevas teorías y nuevos dispositivos para detectar señales escondidas a nuestros sentidos, pueden expandir las esferas de lo medible y predecible a expensas de lo desconocido y lo conocido pero indescriptible. Esto parecería ser la responsabilidad de los desarrollos científicos futuros. ¿Cómo abordamos fenómenos sociales y psicológicos no completamente comprendidos, ni tan siquiera detectados, para poder apreciarlos en su verdadera extensión e importancia? Esta es una de las cuestiones más retadoras de la ciencia moderna. Nuestra historia pasada reciente –y nuestro optimismo– nos hacen creer que el futuro proporcionará extraordinarios éxitos a la ciencia, contrayendo las esferas de lo conocible y expandiendo las de lo

predecible.

Kurt Gödel (1906-1978) analizó esta limitación en términos puramente matemáticos en su teorema de incompletitud publicado en 1931. Allí dice que para cualquier sistema axiomático recursivo auto-consistente lo suficientemente poderoso como para ser descrito con la aritmética de los números naturales, existen proposiciones verdaderas que no pueden ser probadas a partir de sus axiomas. Esta proposición puede relacionarse con las limitaciones de la razón humana de Kant y extrapolarla diciendo que para describir completamente a un sistema multidimensional dado, se requiere uno mayor que incluya el anterior. Por lo tanto, ningún sistema que sea más pequeño que el universo entero será capaz de asir toda la complejidad e inmensidad del cosmos. En otras palabras, ninguna mente que sea más pequeña que la realidad que quiere analizar podrá abarcarla en su totalidad.

En términos de nuestro gráfico, lo no conocible será siempre parte de la vida. La ciencia moderna, como lo hizo la antigua en su tiempo, tendrá que encontrar maneras de cohabitar armoniosamente con los constructos psicológicos y sociales que los humanos han desarrollado y utilizan para abordar lo desconocido.

Definición de ciencia

La ciencia puede ser definida de muchas maneras diferentes. Puede ser considerada como un esfuerzo colectivo de una multitud de investigadores, escépticos y pragmáticos, que basan sus conclusiones en una cuidadosa y progresiva búsqueda de hechos por medio del uso sistemático y constante de los experimentos, con gran respeto por la evidencia objetiva. Los científicos, al igual que el resto de los humanos, son conservadores. Esperan antes de formular nuevas teorías a que la fuerza de los hechos empíricos

haga inevitable dejar de lado teorías viejas, descartando el uso exclusivo de la intuición, excepto para la formulación inicial de nuevas teorías. Aunque la ciencia necesita elaborar y utilizar constructos racionales, su avance es a través de las observaciones científicas y los experimentos.

Muchas cualidades están asociadas con la ciencia: pulcritud, precisión, rigor, limpieza, entereza, lógica, inteligencia, ingeniosidad, atención al detalle, capacidad de síntesis, creatividad, belleza, simplicidad, complejidad. Todas estas cualidades, sin embargo, no son exclusivas de la ciencia dado que pueden ser compartidas por quienes practican con éxito otras disciplinas. Esto nos lleva a preguntarnos: ¿Cómo definimos ciencia? ¿Cuáles son sus cualidades específicas? ¿Qué diferencia hay entre la ciencia que emergió después de la revolución galileana y la forma de pensar de los griegos clásicos?

Podemos definir al menos tres factores que son básicos para la ciencia experimental moderna:

1- *Las teorías científicas deben ser racionales y lógicas*, de tal manera que todo ser humano instruido, e incluso una computadora, pueda entenderlas.

2- *Nuestra mente es limitada*, evolucionó por fuerzas biológicas para producir y guiar comportamientos que apuntan a recolectar recursos de manera eficiente, a cazar para comer, defenderse de los predadores, reproducirse y socializar. Su función biológica primaria no es producir ciencia. Nuestra mente tiene muchas y profundas limitaciones en relación con su habilidad para comprender el mundo. Por la mera producción de constructos racionales, nuestra inteligencia por sí sola, sin ayuda ulterior, es incapaz de asir con todo detalle el mundo físico, químico, biológico y social que nos rodea.

3- *Las teorías científicas deben ser refutables o falsables experimentalmente*. Deben poder someterse a un proceso de experimentación capaz, en última instancia, refutar la teoría. Esto es, una teoría para ser considerada científica tiene que permitir la posibilidad de que la evidencia experimental pueda probar que es falsa. Probar que una teoría es correcta no es suficiente, requiere ser enunciada de tal manera que eventualmente pueda demostrarse por medio de experimentos que está equivocada. El experimento, las observaciones empíricas y las manifestaciones de la naturaleza tienen que prevalecer sobre cualquier producto de nuestra mente limitada. La ciencia reconoce que la realidad abruma a nuestra imaginación, por tanto es un proceso donde no existe una verdad definitiva. Lo que la ciencia posee son hipótesis que pueden ser erróneas y serán reemplazadas, entonces, por otras mejores, más generales y más detalladas.

Los tres factores son indispensables para la ciencia y cada uno de ellos puede tomar múltiples formas. La construcción racional de teorías puede volverse muy sofisticada y algunas veces es el único aspecto en el que está interesada alguna disciplina académica (filosofía, matemáticas, lógica). Experimentar con la realidad y con la falsación de teorías científicas puede convertirse en algo engañoso e indirecto como lo demuestran la ciencia de los sistemas complejos y la metaciencia. Además, nuestras limitaciones mentales cambian, ya que dependen en parte de nuestra educación, de nuestra manera de percibir el mundo y de cómo nos comunicamos con los demás. Mediante el uso extensivo de la tecnología podemos superar, en parte, tales limitaciones. Esto afecta, a su vez, la manera cómo contactamos y percibimos nuestro entorno.

Otras características, como la creatividad y la imaginación, también pueden ser importantes. Sin embargo, es posible que la ciencia

sea alimentada y prospere sin mucha imaginación o creatividad, por lo cual no necesariamente forman parte de la ciencia. Por ejemplo, las computadoras a menudo diseñan y ayudan en la producción de nuevos compuestos farmacológicos, drogas, catalizadores o materiales sofisticados en los laboratorios de las compañías farmacéuticas y químicas, sin que por ello se nos permita calificar a las computadoras de creativas o imaginativas.

La ciencia comparte muchos atributos con otras capacidades intelectuales humanas. Por ejemplo, requiere pensamiento racional, lógica, construcción de conceptos y modelos que establezcan relaciones entre ellos, aptitudes para la comunicación, habilidades técnicas, inteligencia y percepción, originalidad, creatividad, rigor, trabajo duro, disciplina, tradición, estímulo social y muchas otras características. A menudo ocurre que una persona desarrolla con gran éxito algunas pocas de estas cualidades, empañando a otros con sus destrezas. Pero es la presencia de las tres características antes mencionadas la que, con la adición o no de otras, nos permite reconocer a una actividad como científica.

A menudo un cuadro dice más que miles de palabras. Este es el caso del dibujo de Rob Gonsalves, colocado al comienzo de este capítulo, que recuerda la metáfora de Platón (Alegoría de la caverna) donde se describe a hombres encadenados en una caverna, mirando las sombras del mundo exterior. Tanto se acostumbraron a ver la realidad a través de estas sombras, que cuando uno de ellos logró ver el mundo real y contó a sus compañeros encadenados lo que había visto, ellos lo tomaron por loco. La ciencia es el único constructo heurístico humano conocido y comprobado que permite aumentar nuestro conocimiento de la realidad medible. La ciencia no posee la verdad, funciona construyendo hipótesis, utilizando métodos rigurosos e instrumentos sofisticados para refinar las observaciones y diseña experimentos para descartar hipótesis

inservibles o defectuosas y construyendo otras nuevas. El desarrollo de la ciencia se basa en la humildad (el reconocimiento de que no sabemos) y en el esfuerzo sostenido, cualidades de las cuales depende. Esta dependencia de la ciencia y la aceptación del experimento como juez inapelable, hace que nos detengamos un momento en estos aspectos del alma humana.

La arrogancia puede conducir a la ignorancia

Cualquier modelo mental será siempre más simple que el mundo en que vive. Si nuestro cerebro es sólo un pequeño subconjunto del mundo multidimensional, nunca podremos atrapar toda la complejidad y la inmensidad del cosmos en detalle. Varios de los recientes premios Nobel en Economía han demostrado la irracionalidad de varios comportamientos económicos; los psicólogos sensoriales tienen gran cantidad de evidencia sobre la facilidad con la cual el intelecto puede ser engañado. La vida diaria muestra una multitud de ejemplos de cuán incapaz es la razón para evaluar correctamente riesgos y probabilidades, lo cual da lugar a toda la industria de loterías, juegos, apuestas y otras actividades humanas desatinadas.

Una de las primeras tareas que nuestra mente tuvo que resolver fue encontrar sentido a las señales neuronales producidas por los órganos sensoriales enviadas al cerebro. Estas innumerables señales debieron ser filtradas y procesadas para producir una abstracción de la realidad. Los filtros seleccionan estímulos significativos o aquellos que nos permiten desarrollar comportamientos compatibles con el mundo que nos rodea. Por ejemplo, las señales visuales son filtradas y procesadas por la retina y nuestro cerebro a fin de incrementar el contraste y mejorar la percepción de formas. Ello nos permite detectar con mayor precisión otros organismos, y decidir en fracciones de segundo si son potenciales presas o si son

predadores. Sin embargo, este proceso de filtrado, indispensable para la supervivencia exitosa en el mundo real, irremediablemente conduce a errores, desconocimiento y limitaciones del funcionamiento de nuestro intelecto.

A pesar de gran cantidad de evidencias sobre las limitaciones de la mente humana, muchos aún creen que con el solo uso de la mente es suficiente para desentrañar cualquier complejidad de la realidad. Una fuerte creencia en el poder absoluto de nuestra racionalidad es una irracionalidad.

Algunos humanos, ahora y antes, han reconocido los límites de la inteligencia individual, aceptándolos como un hecho natural y poniendo su fe en manos de la religión o del dogma. Aunque esta actitud puede tener varias ventajas y es muy común hoy día, además de ser aceptada por muchos eruditos medievales y sabios clásicos persas, egipcios y griegos, no puede ser considerada como una solución racional para las limitaciones intelectuales. Dogma y fe son productos de la mente que ni tan siquiera nos permiten intentar la exploración de los mecanismos subyacentes que la limitan.

Una conclusión similar surge de las explicaciones evolutivas y ecológicas, como se puede ver, por ejemplo, en *Die Rücksite des Spiegels* de Konrad Lorenz. Aunque muchos algoritmos mentales, la lógica natural y ciertas dinámicas del raciocinio pueden ser explicados por sus ventajas adaptativas en la lucha por la supervivencia en el mundo práctico, ello no nos ayuda a extraer la verdad más profunda que subyace en la realidad. Así, la forma de razonar innata se ha adaptado para "ser meramente suficiente" (Herbert Simon, 1916-2001), es decir, para realizar el trabajo que nos permite sobrevivir y reproducirnos con éxito. Mas no para dilucidar los misterios del mundo subatómico o el de dimensiones

cósmicas.

Una consecuencia importante, una vez aceptada esta limitación, es la emergencia de la tolerancia, según Baruch Spinoza (1632-1667). Una medida de los grados de tolerancia debería servir, por lo tanto, como un estimado indirecto de los niveles de aceptación o de reconocimiento de nuestras propias limitaciones. Tales medidas de tolerancia existen. El *Pew Global Attitudes Project* exploró la predominancia de actitudes específicas en una cantidad de países. Algunas de las actitudes exploradas están relacionadas con la tolerancia. En la tabla siguiente se muestran las correlaciones entre respuestas positivas a algunas preguntas relevantes del *Pew Global Attitudes Project* e indicadores de desarrollo económico y productividad científica. Muy claramente puede observarse que los países con desarrollo científico y económico alto tienen más ciudadanos tolerantes en relación con actitudes sexuales y religión.

Una encuesta similar de actitudes y valores realizada entre un grupo de científicos, previamente clasificados según su productividad científica (número de publicaciones) y el impacto de su trabajo en la comunidad científica (número de citaciones), mostró que los científicos más productivos y exitosos por lo general tenían las actitudes más modestas en relación con sus limitaciones para impactar a la sociedad (*Science, religion and economic development*, *Interciencia*, 2005). Esta correlación es independiente de la autoestima, por lo general muy alta, de estos científicos. La humildad se correlaciona, en consecuencia, con el éxito científico. Estas relaciones son exploradas extensamente por el economista Richard Florinda en su libro *The flight of the Creative Class*, donde presenta un índice global de competitividad de las naciones en

términos de las "3Ts" del crecimiento económico: tecnología, talento y tolerancia. Otra vez encontramos la tolerancia esencial para el crecimiento económico y su correlación con la tecnología.

Actitudes según el sondeo Pew 2002	PTB	IDH	PM	SCI	Pel
La homosexualidad debería ser aceptada por la sociedad (N= 41 países)	0,64 ***	0,74 ***	0,56 ***	0,66 ***	0,61 ***
No es necesario creer en dios para ser moral (N= 38)	0,68 ***	0,73 ***	0.62 ***	0,79 ***	0,61 ***
El éxito no está determinado por fuerzas fuera de nuestro control (N= 44)	0,44 **	0,34 *	0,44 **	0,31 *	0,52 ***
La religión es un asunto personal y debe estar separada de asuntos de gobierno (N= 39)	0,93 *	0,11	0,31 *	0,38 *	0,29

***; ** y * indican valores que son estadísticamente significativos para el nivel probabilístico de $p < 0.001$, 0.01 y 0.05 respectivamente

PTB = Producto Territorial Bruto

IDH = Índice de Desarrollo Humano producido por las Naciones Unidas

PM = Productividad científica según *PubMed* del National Institute of Health, USA

SCI = Productividad científica según *Science Citation Index* (SCI)

Pel = Número de películas producidas al año

Una correlación de 1 indica una correspondencia total entre las dos variables que están siendo comparadas. Un valor de 0 indica que no hay correspondencia alguna entre ambas variables.

Datos de *Science, religion and economic development*, *Interciencia*, 2005.

Es fundamental para la ciencia experimental moderna el reconocimiento de que el pensamiento racional no puede ser el único árbitro de la verdad; de que algunos mecanismos externos al fun-

cionamiento de nuestra mente son esenciales en la búsqueda del conocimiento y que ello conduce a aceptar a la observación empírica y al experimento como los últimos árbitros de cualquier disputa racional en la búsqueda de nuevas percepciones del mundo.

Esta humildad esencial es parte de la base de la ciencia y conduce a aceptar que ninguna teoría científica es la Verdad, sino sólo una aproximación a ella, ya que cualquier teoría científica puede ser demostrada como falsa o incorrecta, no importa la autoridad que la respalde, la belleza de un argumento o lo intrincado de un razonamiento, si los hechos empíricos así lo ameritan.

El experimento y la observación científica

La ciencia está basada en la lógica, el pensamiento racional, la construcción de modelos, tecnología, inteligencia, trabajo duro, sinergia de grupo, esfuerzo sostenido, construcción sobre experiencias pasadas, etc. Muchas de estas características son compartidas por otras actividades intelectuales. Como ya mencionamos antes, otras disciplinas académicas o esfuerzos intelectuales han desarrollado habilidades y herramientas muy superiores a las que gran cantidad de científicos jamás habría soñado con tener en sus manos. Artistas, músicos, escritores y muchos intelectuales, comparten todas o gran parte de esas características y son mejores que muchos científicos para comunicar ideas sutiles y sensaciones. Humanistas y filósofos son a menudo muy superiores a los científicos en desarrollar y explicar largas cadenas de argumentos lógicos y en verbalizar argumentaciones racionales complejas. Literatos y poetas se destacan por combinar diferentes aspectos de la realidad y por diseñar asociaciones entre hechos distantes.

El uso de la evidencia experimental, como árbitro de cualquier disputa, es lo característico de la ciencia y el motor de su progreso.

Razón y lógica son parte del método científico, pero debido a la aceptación (consciente o no) de la limitación de nuestra mente, en ciencia el experimento se sobrepone a la razón.

Esta única relación entre razón y experimento conduce a una definición única de objetividad en ciencia. Por objetividad entendemos el diferenciar el yo del objeto de estudio. En la ciencia moderna, no es tanto la distancia entre el sujeto y el objeto de estudio lo que define el grado de objetividad, aunque una distancia mayor ciertamente ayuda a la objetividad; es la falsación lo que operacionalmente define a la objetividad.

Una teoría es falsable cuando es posible probar que es falsa. Cuando comprobamos una hipótesis haciendo todas las pruebas para verificar su fortaleza e interpretamos los resultados como una confirmación de la misma, en realidad no habremos hecho ninguna comprobación ya que sólo estaremos extrapolando los poderes explicativos de la teoría. Una buena hipótesis o teoría científica debe estar estructurada de forma que se pueda comprobar que es incorrecta.

La falsación fue definida por Karl Popper en los años 30 como una idea aparentemente paradójica: una proposición o teoría no puede ser científica si no admite la posibilidad de que pueda mostrarse que es falsa. Falsable no significa falso. Para que una proposición sea falsable debe ser posible, al menos en principio, realizar una observación que demuestre su falsedad. Por ejemplo, la proposición "todos los cisnes son blancos" puede ser demostrada errónea observando que existe un cisne negro (a menos que se limite la hipótesis proponiendo que "muchos cisnes son blancos").

Otro ejemplo: los investigadores de la percepción extrasensorial (PES o ESP en inglés) con frecuencia encuentran individuos que parecen capaces de leer la mente. El experimento consiste en pedir

a una persona que piense un número y luego lo escriba sentada cerca del individuo con poderes "extrasensoriales", quien debe adivinar el número escrito en el papel. Una comprobación escéptica tendiente a mostrar errada la PES consistiría en que la adivinación de los números pensados por los individuos PES no fuera más frecuente que la que ocurriría por azar, si se repite varias veces. Sin embargo, al ver una demostración estadística de la inefectividad de la adivinación extrasensorial, los defensores de PES argumentarán que las habilidades de los individuos son frágiles y que sólo se manifiestan bajo condiciones óptimas. Por lo tanto no hay condiciones para demostrar la falsedad de la teoría y, por tanto, la PES no es falsable.

Producir teorías falsables no es tarea fácil y el grado o facilidad con que pudiera demostrarse su falsedad es su fuerza: las buenas teorías son falsables fácilmente. La teoría de la gravitación universal, por ejemplo, dice que todos los cuerpos libres caen en dirección al centro de la Tierra. Cualquier persona que muestre un objeto sobre la superficie terrestre que pueda levitar, habrá demostrado que la teoría de la gravedad es falsa. Es decir, es muy fácil demostrar que esta teoría es falsa, pero nadie ha sido capaz de hacerlo, lo cual demuestra que las bases científicas de la teoría son sólidas.

En su ensayo "Frente a tu nariz", de 1946, George Orwell, afirma: "*Todos somos capaces de creer cosas que sabemos falsas, y entonces, cuando finalmente se nos prueba que estamos errados, imprudentemente torcemos los hechos para demostrar que teníamos razón. Intelectualmente es posible continuar este proceso por un tiempo indefinido: la única interrupción es que tarde o temprano una creencia falsa choca contra la sólida realidad, por lo general en un campo de batalla*".

La falsación tiene que evitar modificaciones *ad hoc* y *post factum* de la teoría para su adaptación al resultado de los experimentos. Una vez que una teoría ha demostrado ser falsa, todas las opciones deben ser reconsideradas y construida una nueva hipótesis o teoría. El demostrar que una teoría compleja es falsa no invalida necesariamente todos sus aspectos; es posible que algunas relaciones, conceptos o postulados de la nueva teoría sean extraídos de las anteriores que fueron demostradas falsas. Pero esta manera de avanzar en el conocimiento es diferente de la tradicional construcción de una red lógica de ideas. Para la ciencia, la consistencia lógica de una teoría tiene importancia secundaria frente a su consistencia con los hechos empíricos. Muchas teorías científicas parecen ser ilógicas. Este podría ser el caso de la teoría cuántica, la de la relatividad o la de la evolución biológica. Estas teorías postulan varias explicaciones de la realidad que nuestra intuición percibe como irracionales. La posibilidad de falsación y el resultado de innumerables experimentos, y no sólo su concisión y belleza racional, hacen de ellas las teorías más aceptadas en la actualidad.

¿Podemos considerar, bajo estos criterios, a la matemática como una ciencia? Si la matemática se considera como un idioma especializado en describir relaciones y postulados lógicos, estaría justificado descartarla por no científica. El hecho de que muchos científicos utilicen la matemática (o el idioma inglés) para escribir sus artículos, no los convierte en ciencia. Pero parte de ella también estudia la lógica subyacente de aspectos que se encuentran fuera de nuestra mente, tales como las relaciones entre sistemas. Nuestros criterios permiten una respuesta precisa a la cuestión: si una teoría matemática es falsable entonces puede ser clasificada como científica. Si la teoría es solamente lógica y no es falsable por elementos fuera de nuestra mente, no es científica.

La necesidad de verificar empíricamente a las teorías hace que los

científicos sean parcos en construir largas y complejas cadenas de pensamientos racionales. Por el contrario, los filósofos se destacan por construir castillos de pensamiento racional sin considerar su posibilidad de falsación empírica. Los científicos se preocupan de que cada nuevo pensamiento o idea agregados a una teoría científica puedan ser mostrados falsos, necesitando así nueva evidencia empírica para su inclusión. Por lo tanto, el hábito de producir constructos racionales, sin una base empírica para cada parte de ellos, no es científica y marca una fuerte diferencia entre científicos y otros intelectuales. Los científicos experimentales saben que la probabilidad de que una idea nueva resulte falsa es muy alta. Por lo tanto, la probabilidad de que una serie o cadena de ideas no comprobadas reflejen de forma correcta una nueva realidad desconocida es prácticamente nula. El reconocimiento de los límites del pensamiento racional debería hacer a los intelectuales más cautelosos al producir un discurso muy sofisticado y utilizar argumentos largos puramente verbales. Si esta manera de pensar fuera aplicada sistemáticamente a otras esferas de la actividad humana, podrían evitarse costosas equivocaciones, acelerándose la adquisición de conocimiento y extendiendo el adelanto tecnológico experimentado en los dos siglos pasados.

Elementos de la ciencia: Observación, descripción y comunicación

Además de reconocer nuestros límites y aceptar al experimento como árbitro final, la ciencia se nutre de muchas otras capacidades: pensamiento claro y lógico, reflexión abstracta, observaciones precisas, comunicación precisa y clara, etc. Esto, además de la creciente especialización y compartimentalización de la actividad humana y tomando en cuenta que muchos proyectos científicos complejos requieren de otras disciplinas y profesiones para

completar su tarea, conduce a muchos investigadores y profesionales a especializarse en actividades que, si bien forman parte de un proyecto científico, no aplican a ellas el método científico en todos sus aspectos. Por ejemplo, ciertos taxónomos, ocupados en describir nuevas especies, informan de diferencias cada vez más finas entre especimenes muertos en las colecciones de los museos para definir otras nuevas especies, ignorando el principio de falsación. Ellos apoyan su decisión en la intuición y en los especimenes disponibles. Muchos de estos taxónomos no tienen manera de comprobar mediante experimentos si una especie está o no reproductivamente aislada de sus especies hermanas. Son los genetistas, o los que se ocupan de historia natural, o los ecólogos de campo, quienes podrían ser capaces de mostrar errado el estatus de una especie nueva. Sin embargo, aun cuando los taxónomos producen esquemas de clasificación no siempre falsables, su trabajo es fundamental para la biología evolutiva y la ecología, disciplinas que se apoyan en la verificación experimental.

Otro ejemplo podría estar dado por la computación teórica, cuando estudia la vida artificial, la cibernética y la inteligencia artificial. Los modelos de simulación utilizados, muy a menudo están inspirados en argumentos extraídos de la filosofía, la lógica o la sociología, que no siempre son falsables. Estos modelos son utilizados para simular características de sociedades y de sistemas complejos en general, y producen predicciones que pueden ser sometidas a comprobación por economistas experimentales, biólogos de campo y antropólogos, mediante el diseño de experimentos y observaciones destinados a tratar de encontrar errores en las conclusiones de esas simulaciones. Por tanto una actividad no falsable lleva a otra que sí lo es.

Publicar o perecer (*publish or perish*) es la regla de los científicos modernos, lo que convierte la comunicación en parte importante

del trabajo científico. Para publicar, sin embargo, no es suficiente tener buenas ideas o resultados experimentales novedosos. En un mundo cada vez más global y complejo es fundamental para la supervivencia profesional de un científico la capacidad de comunicar ideas complicadas de manera simple y de colocar en su contexto resultados experimentales aislados. Estas habilidades no están, por lo general, asociadas con la ciencia. Los planes de estudio académicos en gran medida las ignoran. A pesar de esto, los editores de las revistas y el público científico, evalúan el nivel de cualquier investigador a través de sus capacidades comunicacionales. O sea, la buena comunicación es una parte fundamental de la ciencia.

Y también lo son un conjunto de otras capacidades y esfuerzos humanos. La lógica, el razonamiento abstracto, la construcción de modelos, la cooperación entre grupos interdisciplinarios, crear y aceptar confianza, confiabilidad, precisión, atención al detalle, trabajo duro, inteligencia y muchos más son atributos fundamentales para una actividad científica eficiente, y son importantes para muchas otras ocupaciones. Dado que estas actividades no son exclusivas de la ciencia no serán discutidas aquí.

Tecnología

Dos actividades son esenciales para la ciencia: observar a la naturaleza y plantearle preguntas mediante experimentos. Ambas son reforzadas por dispositivos, aparatos y otros accesorios que potencian nuestros sentidos e incrementan la capacidad de nuestros órganos. Estas extensiones se logran mediante lo que llamamos tecnología.

Tecnología y ciencia no son lo mismo. La ciencia intenta comprender la realidad, la tecnología busca transformarla. La tecnología no

requiere una explicación coherente y completa de la realidad; cualquier explicación que produzca resultados prácticos en el dominio donde se quiere resolver un problema dado será bienvenida. La ciencia, por otra parte, cuando explora la realidad, no es consciente de ninguna aplicación útil para mejorar el confort humano. La ciencia sigue las ramificaciones semi-fractales de la realidad multi-dimensional sin importar a dónde conduzcan; mientras que la tecnología mantiene el foco sobre un objetivo determinado.

Ambas, tecnología y ciencia, pueden utilizar, con todo, métodos similares, aunque el énfasis sobre la capacidad exploratoria y el uso de una teoría difieren ampliamente. Sin embargo, ninguna puede vivir sin la otra. La tecnología se basa en la ciencia. La tecnología desarrolla instrumentos y dispositivos construidos sobre leyes científicas, los cuales ayudarán al científico a explorar la naturaleza y a desarrollar mejores leyes científicas. Éstas, a su vez, ayudarán a la tecnología a producir herramientas y dispositivos aún más sofis-ticados y poderosos. La tecnología moderna no puede existir sin la ciencia ni la ciencia moderna sin la tecnología. Esta simbiosis es la columna vertebral de las sociedades tecnocráticas modernas.

Límites de los científicos, de la ciencia y de sus aplicaciones

Todo esfuerzo humano tiene limitaciones. Después de todo, los humanos no son dioses. Aquí procederé a nombrar algunas de las limitaciones que pueden experimentar los científicos y la ciencia.

1- *Debilidad humana*: La ciencia es practicada por humanos y por lo tanto padece de todas las limitaciones que éstos padecen. La codicia, la ambición, las mentiras, la miopía intelectual, los prejuicios no pueden ser excluidos del entorno de trabajo de los científicos, aunque está claro que no forman

parte de la ciencia ni de sus métodos.

2- *Estudiar lo mensurable*: La ciencia sólo puede estudiar lo mensurable y es muy buena para manejar lo predecible, "Como se dijo anteriormente en Niveles de lo conocible. Sin embargo, nos enfrentamos continuamente con fenómenos que no son siempre mensurables ni predecibles y que, por lo tanto y al menos por el momento, no pueden ser abordados por la ciencia.

3- *La ciencia es buena para descubrir conocimiento, mas no para aplicarlo*: Muchas actividades humanas implican toma de decisiones firmes utilizando pocos recursos y una información limitada. En este caso es mejor, para la acción, usar la experiencia, herramientas de ingeniería bien probadas, o algoritmos ampliamente utilizados, antes que aplicar el método científico. Por ejemplo, la física aumenta nuestro conocimiento del mundo que tocamos y vemos, pero es la ingeniería la que construye sobre el conocimiento develado por la física. En la misma tónica, la biología, la fisiología y las ciencias de la vida descubren los misterios de la vida, en tanto que la medicina, la ingeniería agrícola y la veterinaria aplican buena parte de este conocimiento para resolver problemas específicos. Esta diferencia no significa, sin embargo, que una misma persona no pueda destacarse en ambos aspectos; significa que no todos los científicos son buenos ingenieros ni que todos los ingenieros son buenos científicos.

4- *La ciencia pura difiere de la aplicada*: Muchas disciplinas todavía no separan el descubrimiento de leyes y fenómenos naturales o sociales de su posible aplicación. Hay una separación neta entre física e ingeniería, o entre zoología y veterinaria, o entre la química y la ingeniería química, que se encuentra ausente en otras disciplinas académicas. Sería el

caso de economistas y sociólogos, por ejemplo, quienes mezclan el estudio de los fenómenos reales con la proyección de ideales políticos y morales. O sea, la aspiración de construir una sociedad específica o de lograr un resultado específico, influencia el pensamiento en la fase analítica de estas disciplinas, por lo cual tiene un efecto similar al de los dogmas. La presión por aplicar el conocimiento a la solución de problemas prácticos limita las exploraciones de nuevas rutas heurísticas.

5- *Las explicaciones científicas no satisfacen forzosamente necesidades y ansiedades psicológicas*, ni la necesidad de afecto, ni el deseo de éxito o poder, ni muchos otros impulsos humanos. La ciencia es buena para descubrir lo desconocido y no para satisfacer necesidades y deseos humanos.

6- *El ritmo de la innovación se hace más lento*: Varios estudios muestran de manera convincente que la tasa de incremento de la innovación científica y tecnológica se está haciendo más lenta. La emergencia de modas en cuanto a ideas, rasgos culturales y tecnologías es un hecho conocido y probado de la historia humana. ¿Puede ocurrir que la ciencia llegue a ser sustituida por otras ideas "post-modernas"? ¿O es que la realidad se hace cada vez más compleja y escapa a los análisis científicos? ¿Hemos conseguido ya gran parte del conocimiento que la ciencia podía cosechar de la naturaleza? Podríamos imaginar un futuro en el cual esfuerzos más interdisciplinarios extendieran la aplicabilidad de la ciencia a nuevos campos y en el cual emergiera una disciplina más compleja. Esto podría poner nuevas restricciones a la actividad científica y plantearía nuevos retos a la humanidad.

Il faut contempler; il faut penser.

Qui pense peu se trompe beaucoup
(Hay que contemplar, hay que pensar.
Quien piensa poco se equivoca mucho.)
Leonardo da Vinci

LA CIENCIA MODERNA

La realidad multidimensional

Autor: Rob Gonsalves

Lo más pequeño contiene al infinito.
Tao

La estructura de la realidad y del mundo tiene dimensiones curiosas. Simplificamos el mundo proyectando intuitivamente cada objeto que vemos en cuatro dimensiones: tres dimensiones espaciales y una temporal. Sin embargo, cuando intentamos abordar de forma simultánea redes de objetos y sus interacciones, este mundo tetradimensional simplificado es insuficiente para suministrar una descripción precisa de la realidad. Para ésta son necesarias nuevas dimensiones conceptuales.

Las propiedades multidimensionales del mundo no pueden reducirse al concepto de la física. Un mundo de varias dimensiones, que incluye longitud, anchura, altura y tiempo, tal como es imaginado por la física, contempla un plano continuo que intercepta a otro plano continuo. Cada plano es simétricamente equivalente a los otros y se supone homogéneo. Ese mundo multidimensional y espacio-temporal tiene propiedades de simetría. El eje "x" puede ser hecho equivalente al eje "y" por una simple rotación de la figura. Sin embargo, muchos fenómenos de la vida real, aunque multidimensionales, no son ni simétricos ni homogéneos y tienen propiedades adicionales que exigen un nuevo concepto: lo multidimensional.

Un ejemplo podría ilustrar la multidimensionalidad de la naturaleza real. Cuando nos fijamos en una aguja, por ejemplo, podemos explorar el objeto de acuerdo con una ruta racional de análisis en la dimensión de sus materiales constituyentes, sus aleaciones metálicas, la estructura de su superficie, sus propiedades eléctricas y magnéticas, su estructura atómica, su diseño subatómico, etc.; o

bien podemos desviarnos, en muchos puntos (no en todos, sin embargo) de este análisis cada vez más profundo, hacia una nueva dimensión de exploración. Por ejemplo, cuando lleguemos al análisis de la superficie de la aguja, podemos explorar las interacciones con la atmósfera, las reacciones químicas que ocurren en la superficie, la energía liberada por estas interacciones, la naturaleza de estas energías, etc. Podemos también explorar la forma de la aguja y su interacción con otros objetos, su interacción con el aire, con corrientes de agua, con electrodos, con iones, etc. Podemos explorar el proceso de la construcción de agujas, incluyendo tanto las máquinas y la tecnología utilizada como las fuerzas económicas que mueven los mercados de agujas. O sea, partiendo del análisis del objeto "aguja", podemos desviarnos hacia muchas "dimensiones" de análisis. Algunas veces el salto no implica un cambio en la escala según la cual medimos el espacio, sino que podría implicar un cambio en la escala con la que medimos el tiempo. El mero hecho de cambiar el marco conceptual en el cual basamos nuestras observaciones nos permite ver una nueva "dimensión" del funcionamiento de la naturaleza. Esta curiosa propiedad de la naturaleza, revelada por nuestra exploración científica, es la que yo quiero describir con un nuevo concepto que llamaré, a falta de una palabra mejor, la *red multidimensional* (lo que une diferentes dimensiones), *Raumzweigung* o *Kakodiastema* (divisiones del espacio), o la "ramificación dimensional del espacio conceptual".

Estas nuevas dimensiones de análisis podrían no ser infinitas en número, ni todas ellas equivalentes en profundidad o en finura, ni son simétricas de otras dimensiones multidimensionales. Cada una de ellas tiene particularidades que requieren una disciplina especial para su estudio. De hecho, gran parte de las disciplinas científicas actuales ha sido creada para estudiar una de estas dimensiones.

Cada disciplina científica refleja algunas de las dimensiones complejas de la realidad, análogamente a la manera de cómo nuestro intelecto, forjado por las fuerzas evolutivas, ha sido construido para reflejar la realidad biosocial que nos toca vivir, tal como deliciosamente lo describe Konrad Lorenz en su libro *Die Rückseite des Spiegels* (*Detrás del espejo*). En ese libro, Lorenz muestra cómo la mente, al igual que el revés de un espejo, está biológicamente conformada para reflejar la realidad que nos circunda cotidianamente. Esto es, nuestros ojos y sistema visual se han adaptado para capturar y analizar ondas electromagnéticas; nuestros oídos han evolucionado para capturar y analizar ondas de presión; nuestro cerebro ha desarrollado habilidades para capturar y analizar relaciones causales; nuestra intuición refleja de una forma simplificada probabilidades estadísticas de interacciones entre organismos, etc.

Otro aspecto relevante del concepto de red multidimensional o *Raumzweigung* está relacionado con la emergencia de tecnologías. Por ejemplo, cuando estudiamos los diversos tipos de expresión de la energía, tropezamos con diferentes problemas. Dependiendo de lo que se inquiera sobre el objeto de estudio, surgirán diferentes dimensiones complejas. Al proseguir el análisis de cada uno de estos problemas, aparecen otras dimensiones de la realidad y diferentes disciplinas que se ocupan de ellas. El nacimiento de nuevas tecnologías (la mecánica, la aeronáutica, la electrodinámica, la ingeniería eléctrica, la electrónica, la tecnología de la información, la comunicación social, etc.) es una consecuencia y causa de esta apertura, ya que el progreso de la humanidad en una dimensión de la realidad requiere extender las capacidades de nuestros órganos que nos conectan con el mundo a través de los sentidos. Deben ser desarrollados nuevos instrumentos científicos, dispositivos para mediciones y detectores

para que, una vez en uso, abran nuevas fronteras del conocimiento, en tal vez otras dimensiones de la realidad. El telescopio nos abrió el mundo de las estrellas, el microscopio nos reveló las amebas y bacterias, el microscopio electrónico nos descubrió los virus, el control de las reacciones químicas condujo al descubrimiento de las moléculas subyacentes de la vida, y las fuerzas que unen a los metales nos permitieron seguir las acciones de los electrones.

La impredecibilidad de los puntos de bifurcación donde emergen nuevas dimensiones de la realidad puede ser ejemplificada con innumerables casos. Listaremos aquí unos pocos:

1- La historia de los dispositivos ópticos. Los telescopios, desarrollados en primer término con el propósito de ver mejor al enemigo o a los barcos mercantes, fueron dirigidos luego a los satélites terrestres, a los planetas solares y estrellas, abriendo nuestra visión al universo, al cosmos y al mundo de la física moderna. Con pequeñas modificaciones los telescopios fueron el instrumento para abrir una dimensión completamente diferente, ya que la exploración de lo muy pequeño con el microscopio nos permitió ver, entre otras cosas, los elementos fundamentales de la vida: las células.

2- El desarrollo de dispositivos para medir la carga eléctrica en los siglos XVII, XVIII y XIX abrió nuevas dimensiones del conocimiento que condujeron a la construcción de motores, aparatos eléctricos y las modernas computadoras en los siglos XX y XXI.

3- El estudio de la química de los procesos fermentativos llevó al descubrimiento de la vida unicelular.

4- El esfuerzo por comprender las propiedades de la electricidad y el magnetismo logró el dominio de las ondas electromagnéticas.

5- El descubrimiento de la radioactividad condujo, entre otras cosas, a la fabricación de bombas atómicas.

La historia de los grandes descubrimientos de la ciencia puede ser leída como una lista de descubrimientos de nuevas dimensiones de la realidad, aun cuando la historia de cada una de las múltiples disciplinas científicas y tecnológicas, también puede conducirnos a un relato fascinante, siguiendo la exploración cada vez más profunda de una sola dimensión de esta red compleja multidimensional. El desarrollo tecnológico frecuentemente conduce a nuevas ramas de la realidad, produciendo, cuando ocurre, un adelanto de la ciencia fundamental.

Gracias al carácter multidimensional del mundo, nuevas ciencias y conocimientos surgen del estudio de un mismo objeto o fenómeno. Las propiedades físicoquimicas de una aguja de coser requieren, para su exploración, medios, herramientas y leyes completamente diferentes que el estudio de sus propiedades mecánicas. En ambos casos, sin embargo, la ciencia sigue las mismas reglas básicas. Aunque la investigación científica nos permite detectar el carácter complejo del mundo, ella no es suficiente para descubrir nuevas dimensiones. Necesitamos una saludable dosis de creatividad e imaginación, características que forman parte de la ciencia aunque no son exclusivas de ella.

Ciencia de la complejidad

Un sistema es un conjunto de objetos, reales o abstractos, relacionados entre sí. Si el número de objetos es grande y las interacciones variadas, se tendrá un sistema complejo. Una característica de los sistemas complejos es que los fenómenos que emergen de las interacciones no pueden ser predichos observando las partes que los componen. Ello incluso ocurre en sistemas que consideramos

intuitivamente simples pero que en realidad no lo son. Por ejemplo, ningún químico teórico puede predecir las propiedades de la molécula de agua conociendo únicamente las propiedades de los dos componentes del agua: el oxígeno y el hidrógeno. Ejemplos de sistemas complejos son las dunas de arena, aguas turbulentas, ecosistemas, galaxias, órganos biológicos, sistemas nerviosos o sociedades animales o humanas. Las propiedades de los sistemas complejos obligan a que la ciencia moderna introduzca adaptaciones para poder ocuparse de ellos, tales como reducir el ámbito del problema (conocido como reduccionismo). La complejidad de un sistema nos impide tener una visión completa del mismo y nos fuerza a buscar soluciones simples. Nosotros analizamos sólo la pequeña porción del mundo que vemos. Un viejo chiste puede ilustrar este punto. Un borracho busca debajo de un farol las llaves extraviadas de su automóvil. Un amigo le recuerda que las llaves las extravió algo más lejos; a lo cual el borracho le responde que allí está oscuro y que sólo puede buscar sus llaves debajo del farol, único sitio en donde puede ver.

Una propiedad de los sistemas complejos es que un fenómeno puede tener varias causas. Por ejemplo, el cambio del cauce de un río puede deberse a un terremoto, a un cambio en la intensidad de las lluvias, a construcciones realizadas en las cabeceras, etc. Otra propiedad es que los cambios del sistema pueden ser difíciles de lograr. A esta propiedad de la dinámica de redes que produce resistencia al cambio se la llama resiliencia. Cualquier persona que haya intentado construir castillos en la arena habrá podido constatar que después de pocos días u horas, la playa vuelve a adquirir su aspecto impoluto, desapareciendo todo rastro de la construcción.

Otra característica de la dinámica de las redes complejas es el efecto de las “consecuencias imprevistas”, que ocurre cuando una acción realizada para alcanzar un resultado específico puede

producir uno completamente diferente, incluso opuesto al buscado. Por ejemplo, los controles de precio que intentan imponer algunos políticos para ganarse la venia del pueblo, rápidamente producen carestías y subida de los precios de los bienes de consumo. Otro ejemplo lo vemos con la domesticación de animales. ¿Quién hubiera predicho que las ovejas, luego de haberse convertido en sedentarias y haber detenido su migración, incrementarían su período de lactancia; y que esta domesticación de ovejas permitiría a los humanos tejer la lana y sustituir cuero y pieles por ropa y hacer alfombras? ¿Quién hubiera previsto que la aparición de casas defendidas por la comunidad hubiera conducido a aldeas, ciudades y urbanizaciones modernas? ¿Quién hubiera soñado el cambio introducido en la sociedad por el automóvil, la electricidad, el computador o la Internet, antes de que fueran inventados y aceptados mundialmente?

Toda la historia, en especial la humana, está llena de procesos que conducen a estados al comienzo inimaginables. ¿Quién hubiera imaginado que el descubrimiento de las sulfas y la penicilina desencadenaría un incremento de la población mundial? ¿O que el descubrimiento de la electricidad conduciría a la luz eléctrica? ¿O que el descubrimiento de la pólvora para los fuegos artificiales cambiaría los conflictos bélicos? ¿O que el descubrimiento del campo magnético terrestre transformaría la navegación marítima? ¿O que el incremento del bienestar material de poblaciones enteras disminuyera su tasa de reproducción?

Es raro que un conductor de autos pueda prever una falla de su vehículo. Él puede revisar las luces antes de un largo viaje nocturno, pero posiblemente el problema será una rotura del motor por falta de agua en el radiador. Puede reparar los frenos y más tarde tener un corto circuito que le impida arrancar. O puede tener especial cuidado en seleccionar neumáticos nuevos y sufrir la

ruptura del parabrisas por una pedrada. El automóvil ilustra lo que ocurre cuando se estudia un sistema complejo. Un automóvil requiere muchos elementos para su operación adecuada. Es evidente que no puede ser conducido por la noche, con seguridad, sin luces. Es también evidente que requiere un motor bien mantenido y funcional. Además, un auto requiere buenos cauchos, frenos, dirección, caja de cambios, batería, limpiaparabrisas y muchos otros componentes que funcionen bien.

Muchos son los componentes de un sistema complejo, como el automóvil, y todos requieren atención. Si esto ocurre para un sistema relativamente simple y bien conocido, es de esperar una dificultad mucho mayor al estudiar y manejar economías, galaxias y agregados sociales de organismos vivientes. Sabemos que no hay una única receta para garantizar una operación armónica de sistemas complejos. La atención continua de múltiples detalles es la única esperanza para mantener un cierto control.

Los fenómenos complejos han inducido a los humanos a buscar modelos simples. La simplicidad es deseable y se supone que los modelos facilitan la interpretación de la realidad permitiendo una mejor comprensión intuitiva. A menudo, sin embargo, la simplificación tiene sus límites si deseamos conservar las propiedades relevantes del sistema complejo. Encontrar el equilibrio apropiado entre la necesidad de simplificar y la necesidad de capturar las características más relevantes es el desafío de la ciencia moderna de lo complejo.

La perspectiva interdisciplinaria

Cuando se analizan procesos complejos, tales como los fenómenos sociales o económicos, a menudo se encuentra que algunos son el producto “emergente” de interacciones entre procesos mucho más

simples. Por ejemplo, los fenómenos macroeconómicos son el resultado de un agregado de un gran número de procesos micro-económicos que producen fenómenos "emergentes" al nivel macroeconómico que serían muy difícil o imposible de obtener observando simplemente el nivel microeconómico. Pese a esto no es posible comprender en profundidad los procesos macro-económicos sin un buen conocimiento del nivel microeconómico.

La serie de fotos que sigue ofrece una ilustración visual de esta dinámica intraniveles. Cada foto representa diferentes niveles de percepción, mostrando tipos diferentes de complejidad multidimensional que son el producto "emergente" de diferentes tipos de interacciones.

Las imágenes muestran cómo cada escala de observación abre un mundo nuevo de relaciones, leyes y fenómenos, a pesar de que

todos los niveles representan al mismo animal. Al estudiar un organismo o una especie como la humana, uno podría fijarse en la cabeza y luego en los ojos del organismo. El examen del interior del ojo con una lupa revela un tejido irrigado por arterias, venas y fibras nerviosas. Agrandando suficientemente una de las fibras nerviosas, por ejemplo, se revelará la existencia de neuronas, de impulsos eléctricos y de un sistema de comunicación por frecuencia modulada. Si enfocamos una parte pequeña de la membrana de la neurona, podríamos observar moléculas cuyos átomos interactúan produciendo propiedades curiosas al nivel molecular.

Esto es, unidades perceptivas, que, al ser analizadas en detalle, descubren nuevas unidades que también tienen sus subpartes; de forma que cada unidad es un todo, es parte de un todo y contiene partes de otros "todos". A estos objetos se les llama holones que viene del griego *Holos*: todo y *on*: partícula.

Al viajar desde una escala o nivel de observación al siguiente nivel de agregación, aparecen fenómenos particulares. Cuando nos trasladamos desde la célula al tejido, la retina de los ojos se hace notoria, y a mitad de camino entre el tejido y el organismo completo emerge la forma de los órganos característicos. La interacción de varios órganos forma un organismo. La agregación de unos pocos organismos nos permitirá detectar comportamientos biológicos relevantes tales como la formación de parejas y la reproducción. El aumento del tamaño del agregado de organismos da lugar a nuevas formas de organización social y a la existencia del comportamiento de masas. El proceso de saltar niveles podría extenderse en ambos extremos, el micro y el macro. Cada una de las distintas escalas o niveles de análisis requerirá, sin embargo, herramientas diversas para entenderlas y cada una estará gobernada por leyes diferentes de la naturaleza. Estas leyes no tienen por qué contradecirse entre sí, y si tal cosa ocurriera indicaría una debilidad en nuestra

comprensión de la realidad, y lo más probable es que en el futuro pueda mejorarse, logrando así la consiliencia.

Un objetivo de la ciencia es discernir el mecanismo mediante el cual emerge información nueva. Esta tarea ha sido llamada a menudo estudio de los fenómenos emergentes, estudio de la auto-organización, o simplemente estudio de la dinámica de sistemas complejos.

Las diferentes disciplinas científicas enfocan distintos niveles de análisis con poca atención a los niveles de frontera. Este es el caso de la micro y la macro-economía; de la biología celular, de los organismos y la ecología; de la física y la cosmología; de la química analítica y la termodinámica. En la interfaz de éstas, sin embargo, nuevos fenómenos aguardan para ser descubiertos. Este es el objetivo de la ciencia interdisciplinaria.

Para comenzar cualquier intento interdisciplinario es apropiado concentrarse en las diferencias de conceptos y de lenguaje. Estas diferencias a menudo dificultan la comprensión entre científicos. Sólo después de haber logrado un lenguaje común para comunicarse, es cuando los intentos interdisciplinarios arrancarán con éxito. En la tabla siguiente se muestran algunos ejemplos de distinta interpretación del mismo concepto o conceptos similares en tres disciplinas diferentes cuyos significados se complementan.

Ejemplos de conceptos interdisciplinarios complementarios entre tres disciplinas académicas diferentes:

Concepto	**Física y Termodinámica**	**Biología**	**Economía**
Fuerza motriz	Gradiente	Motivación, impulso	Incentivos

Distorsiones cognoscitivas al cambiar de escala	Ondas son vistas como eventos caóticos en espacio-tiempo pequeño y como eventos regulares en espacio-tiempo grande	Micro y macro evolución difieren en fenómenos emergentes	Micro y macro economía difieren en relaciones aparentes de causa y efecto
Medio ambiente constante	Descrito por la termodinámica de equilibrio	Produce resultados evolutivos particulares	Predictibilidad y el estado de derecho favorecen el crecimiento económico
Ciclo creativo	Flecha del tiempo como producto de un universo en expansión	Historias de vida que incluyen reproducción, nacimiento, muerte	Destrucción creativa y ciclos tecnológicos
Progresión dinámica irreversible	Cosmología	Evolución	Desarrollo económico y tecnológico
Estructuras fractales	Frontera geográfica de playas	Hoja-árbol-dosel	Transacciones eco--nómicas – moti-va-cio-nes indivi-dua-les – estruc-turas socia--les – valores humanos

Congelación	Orden emerge a bajas temperaturas	Estancamiento evolutivo emerge por falta de cambio ambiental	Estructuras rígidas detienen el crecimiento económico
Grupo actúa sobre individuo	Fuerzas fundamentales de la naturaleza influencian la dinámica de partículas	Medio ambiente social guía la evolución genética	Fuerzas de agregados sociales actúan a través de los mercados sobre el comportamiento individual
Fusión	Orden destruido por el incremento de temperatura	Hibridización y simbiosis pueden producir nuevas formas de vida	Mezcla de individuos y economías puede producir innovación
Orden	Entropía negativa	Estructuras adaptativas	Estructuras socio-económicas especializadas
Parásito	Reacción colateral	Sanguijuela	No cooperador
Progreso	Aumento en eficiencia energética	Adaptaciones con eficiencia energética incrementada	Productividad y eficiencia económica aumentadas
Templado	Reprogramación de redes neurales	Reproducción sexual por homofilia e hibridización	Contratos de negocios y fusión de empresas

Revolución	Transición de fase	Generación de especies	Cambio en los paradigmas de negocios
Bloqueo aleatorio o congestión	Exceso de ruido congela el sistema	Exceso de variabilidad detiene la evolución	Exceso de desviaciones individuales bloquea el progreso (congestiones de tráfico)
Resonancia aleatoria	Ruido mejora la detección de señales	Ruido mejora la eficiencia adaptativa	Riesgos mejoran beneficio
Sistema-hipersistema	Estrellas – galaxias – universo	Especies – po-bla-ción – metapoblación	Negocios – merca-dos – economía
Umbral	Energía de activación	Borde del caos	Barrera para entrar
Mar de umbrales	Flujo turbulento	Evolución propulsada por selección sexual	Emergencia de sociedades innovadoras
Entorno	Condiciones de borde	Entorno ecológico	Entorno económico

Consiliencia

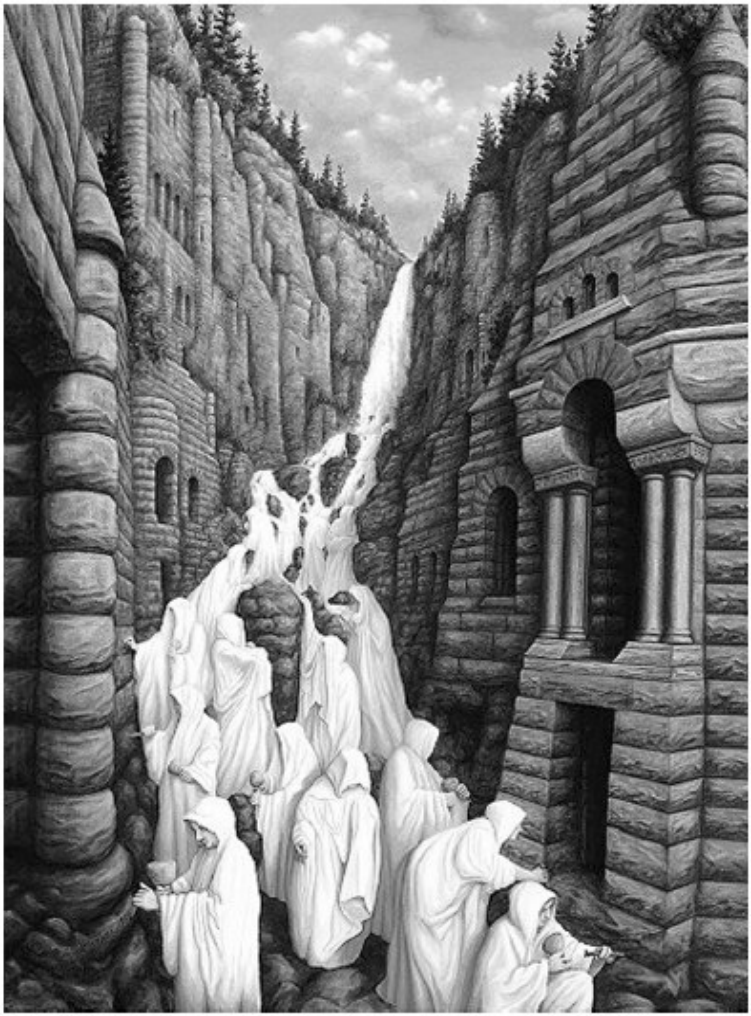
Por consiliencia nos referimos a la convivencia armónica de varias disciplinas científicas sin que ninguna de éstas contradiga a otra. La física no contradice a la química (más bien la apoya), la biología sirve de base a la antropología, las teorías científicas de la psicología y la sociología no pueden contradecir a la biología, ni ésta a la química. Eventualmente las ciencias naturales habitarán consilientemente con los fundamentos de la filosofía, la ética y la religión.

El biólogo evolucionista y ganador del Premio Pulitzer, Edward O. Wilson, termina su libro *Sobre la naturaleza humana* con la siguiente cita de la tragedia griega *Prometeo encadenado* de Esquilo:

> Coro: Pero ¿no habrá sido, Prometeo, que tu acción fue, tal vez, más grave que lo que nos relatas?
>
> Prometeo: Sí, es probable, ya que logré que los mortales dejaran de pensar en la muerte antes de tiempo.
>
> Coro: ¿Será? Pero, dinos, qué hiciste para ello.
>
> Prometeo: Sencillo: hice habitar entre ellos la ciega esperanza.

Esta antigua declaración, que suena como una asombrosa verdad a nuestros oídos contemporáneos, es el final de una exploración que comienza desde la naturaleza biológica del *Homo sapiens* hasta alcanzar sus características más resaltantes, tales como comportamiento ético y religioso. Aquí partimos del punto en el que E.O. Wilson termina, ya que significa esto que tanto su visión de la naturaleza humana como su enfoque de la consiliencia de las ciencias (Edward O. Wilson, *Consilience*, Vintage Books, 1999), son considerados aquí como esenciales para adelantar la construcción de una nueva ciencia, especialmente las ciencias

humanas modernas. Pero este avance tiene que velar por el mantenimiento de la consiliencia con la física, la química y las ciencias biológicas.



Escarbado en la roca de Rob Gonsalves muestra cómo la ausencia de consiliencia tiene valor plástico

La consiliencia puede ser considerada como una condición falsable de las ciencias interdisciplinarias, aplicadas en un contexto complejo. Parece ser un concepto especialmente útil si deseamos fundir las ciencias sociales con las naturales, utilizando herramientas apropiadas para explorar fenómenos diferentes y uniendo disciplinas sin dejar de percibirlas en lo individual. Consiliencia entre las ciencias significa que cualquier teoría construida para explicar fenómenos observados en un nivel multidimensional de la realidad y abordados por un grupo de disciplinas científicas, tiene que ser consistente, o al menos no contradictorio, con disciplinas que estudian otro nivel de la realidad. Veamos algunos ejemplos:

Una teoría física del cosmos no es científica si se basa en suposiciones que contradicen teorías de la física de partículas. Análogamente, cualquier teoría de procesos químicos tiene que conciliar sus suposiciones con las de la mecánica cuántica en cuanto a las fuerzas que actúan sobre los átomos. Ninguna teoría biológica puede ser considerada científica si supone realidades que contradicen nuestra descripción física y química de los fenómenos. Por lo mismo, ninguna ciencia humana o social puede ser considerada como tal si no toma en cuenta la consiliencia con las visiones del mundo que proveen la biología, la química y la física.

Esto significa que la ciencia, para los niveles más altos de complejidad, o para dimensiones multidimensionales diferentes, analiza fenómenos que no están presentes en niveles más bajos de complejidad o en otra dimensión de la realidad. Cada disciplina científica requiere nuevas herramientas para estudiar y comprender las propiedades del sistema en estudio. Muchas características en un nivel alto o agregado son, sin embargo, propiedades emergentes de holones que interactúan en un nivel inferior. La consiliencia entre las disciplinas garantiza que estos fenómenos emergentes sean reconocidos como tales. La consiliencia significa, a la manera

de Popper, que las teorías en un alto nivel de complejidad no deberían ser inconsistentes con las de un nivel de complejidad más bajo. Cualquier inconsistencia, pues, llevaría a falsar a la teoría más débil. Esto es, la consiliencia podría ser propuesta como una nueva manera de falsar hipótesis complejas pudiendo servir el grado de consiliencia entre disciplinas como una medida de la adecuación y del valor científico de éstas.

La consiliencia se apoya en la creencia de que todos los fenómenos en la Tierra están interconectados. O sea que las matemáticas pueden explicar la física, que la física subyace tras la química, que la química y la física son las bases para comprender a la biología y que la sociología y la psicología son derivadas de la biología, que no es más que la ciencia que estudia lo viviente.

Dado que los humanos son sin lugar a dudas animales, la antropología consiliente debe ser una disciplina derivada de la biología: así surge la sociobiología. Esta lógica se aplica con mayor acierto a disciplinas más específicas tales como la dedicada al estudio de las interacciones sociales, la sociología o sociodinámica o la que estudia tipos específicos de interacciones entre individuos de una sola especie, como la economía. En la actualidad una gran brecha separa las ciencias naturales (matemáticas, física, química y biología) de las sociales (antropología, arqueología, sociología, psicología, economía). La búsqueda de la consiliencia entre ellas es una forma de intentar cerrar esta brecha. Esta búsqueda de consiliencia es particularmente pertinente cuando se trata de construir modelos, o de seleccionar entre modelos, que apunten a explicar una familia de fenómenos.

Modelos y simulaciones

Los modelos constituyen una manera eficiente para que nuestra

mente humana pueda producir versiones simplificadas y manejables de la realidad compleja sobre las cuales podamos trabajar. Algunas partes de la realidad son tan complejas que nuestra mente no puede asirlas completamente. Esto hace que las simplificaciones de la realidad sean la única ruta disponible para manejar sistemas complejos. Con el surgimiento de facilidades accesibles, baratas y poderosas de cómputo, el hacer modelos se ha convertido cada vez más en una actividad realizable con la ayuda de computadores dando origen a lo que llamamos simulaciones.

Los modelos son la forma más apropiada para manejar sistemas complejos, mientras se acepte que la verdad absoluta no es alcanzable. Dado que sólo podemos asir partes de la realidad, simplificamos y limitamos nuestro ámbito de atención mediante un modelo de la realidad. No me canso de repetir que nuestro cerebro es tanto más pequeño que el mundo real, que sólo puede manejar abstracciones sintéticas de la realidad. Los modelos son la forma más eficiente para lograr esta síntesis. La verdad absoluta como reflejo perfecto de la realidad es inalcanzable. Es así que la verdad relativa, como conjunto de abstracciones sintéticas de la realidad (modelos) que nos acercan a realidades específicas, será más alcanzable que la verdad absoluta.

La historia de la ciencia, y aún la historia de la vida, puede ser vista como una historia de modelos que permiten una mejor comprensión de los crecientes niveles de complejidad o niveles más altos de organización. Aunque la secuencia evolutiva exacta de los eventos que condujeron a formar la razón y la lógica de los humanos modernos permanece desconocida, una historia seudo- secuencial y discreta del desarrollo mental y de los modelos analíticos durante la evolución de la vida debería incluir los siguientes aspectos:

1- Los primeros seres vivientes desarrollaron un modelo genético

abstracto o código de su cuerpo, el genoma, que les ayudó a construir su organismo, reflejando la necesidad de sobrevivir en un entorno dado utilizando dispositivos de memoria.

2- Los organismos desarrollaron un sistema nervioso central. Éste permitió modelar el movimiento del organismo en un espacio tridimensional y construir representaciones de sí mismo y del entorno, dejando la semilla para lo que más tarde se desarrollará en algo que llamamos conciencia. Gran parte del procesamiento mental de la percepción espacial y el análisis dinámico es realizado por nosotros de manera inconsciente, utilizando mecanismos neurofisiológicos innatos. Nos volvemos conscientes de nuestras maneras inconscientes de procesar la percepción espacial cuando detectamos sus limitaciones, tal como fuera aprovechado por varios artistas, Martin Escher entre ellos. Para comprender mejor el funcionamiento de nuestro cerebro, la psicología moderna explora estas limitaciones permitiéndonos producir, entre otras cosas, diseños nuevos, donde líneas estáticas dan la impresión de moverse, como en la ilusión de Ouchi (p. 104) y muchas otras.

3- Los procesos mentales analíticos más complejos llevaron a estimar proporciones, cantidades, riesgos y probabilidades, lo cual condujo a desarrollar la geometría, el álgebra, el cálculo y las matemáticas en general.

4- Las presiones para adaptarse que sufrió nuestra herramienta pensante, el cerebro, incluidas aquellas relacionadas con el hecho de estar sumergido en un contexto social, nos forzaron a desarrollar capacidades para modelar dicho contexto. Aprendimos o evolucionamos para mirar al mundo de lo social, primero a través de lo subjetivo (nosotros mismos), luego a través de la familia (relaciones de parentela) y al final a través de las

mentes de los demás (empatía).

5- Durante la evolución como primates y como humanos, las interacciones entre la mente y el cuerpo, moldearon a la mente haciéndola capaz de producir reglas de decisión simples y eficientes destinadas a analizar los complejos contextos bio-sociales. Uno de estos conjuntos de reglas está basado en un modelo psicológico, revelado por el "Psicoanálisis" de Freud, a través del análisis de los impulsos sexuales básicos que forman nuestra libido, lo que a su vez produce un potente motor psico-social que guía nuestras motivaciones y acciones. Otro modelo psicosocial más simple está basado en la estructura de familia y es narrado por el "Análisis transaccional" a través de los roles Niño-Adulto-Padre que nuestro cerebro está biológicamente preparado a desempeñar.

6- Una sucesión de caminos evolutivos condujo al reconocimiento del sujeto como separado de su entorno y de la existencia de los demás, con lo cual surgió la empatía. Esto es, aprendemos que las mentes de otros no funcionan de manera idéntica a la nuestra: diferenciamos el yo del otro, siendo miembro de la misma especie.

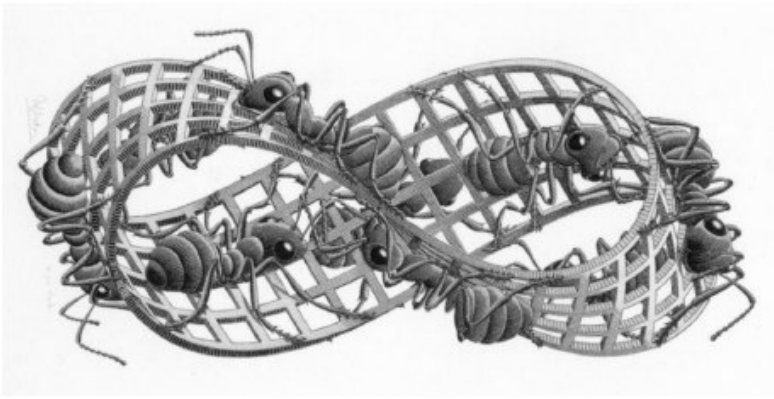
7- Al construir abstracciones de familia y sexo produjimos modelos mentales sofisticados que permitieron la visualización de la interacción entre nosotros con los demás y el entorno, en el pasado, presente y futuro. Algunos de estos modelos adquirieron el status de religiones u otros constructos éticos transcendentales. Estos modelos éticos, altamente abstractos, produjeron los conceptos de "lo bueno y lo malo", esto es, son la base de nuestra moral.

8- Descubrimos los límites de nuestras mentes, lo que lleva a desarrollar modelos científicos que buscan anclajes en la

realidad.

9- Un mundo global y tecnificado, ayudado por herramientas de modelaje tales como el computador y la Internet, produce mercados mundiales de ideas, bienes y capitales, lo cual favorece la emergencia de modelos globales. Algunos de estos modelos globales están enfocados a aspectos muy específicos y son altamente formalizados, como los modelos del Pentágono norteamericano usados para planear la utilización de bombas atómicas o los modelos para analizar fenómenos macro-climáticos tales como el calentamiento global.

10- El desarrollo de sistemas de información digital que trabajan mucho más rápido que nuestro cerebro permitió el surgimiento de modelos numéricos basados en el individuo, simulación de agentes, algoritmos genéticos y otros artilugios de inteligencia artificial, todos capaces de producir modelos que frecuentemente superan a nuestros modelos mentales en velocidad, precisión, aliento y relevancia.



Cinta de Moebius de M.C. Escher

Algunos aspectos de la evolución de las ciencias son análogos a la evolución de la mente humana, incluyendo algunos elementos de homología. En el contexto de las diferentes dimensiones del espacio multidimensional, la historia de la ciencia puede ser vista como la de la evolución de modelos aún más sofisticados y precisos que abren más dimensiones del espacio complejo con otras tecnologías y nuevos modelos conceptuales. Estos modelos experimentan los procesos de adaptación y selección, mejorando de forma continua su aptitud y su precisión para explicar y predecir fenómenos naturales nuevos y viejos. Tal historia, centrada en la evolución de los modelos científicos, puede ser esquematizada como sigue:

1- Los modelos científicos más elementales usados por los humanos primitivos, impulsados por la selección natural básica, fueron los que mejoraron la supervivencia individual. Por ejemplo, los modelos mentales que mejoraron la cacería permitiendo la prueba virtual de la acción, anterior a su aplicación, para buscar alternativas de estrategias de acoso y caza de la presa, sin necesidad de arriesgar la vida. Un ejemplo de esto es el hecho de que los estudios neurofisiológicos muestran que los gatos sueñan que participan en una cacería de ratones, lo cual sugiere que sus mentes construyen un escenario de caza. Gatos, perros y muchos otros animales construyen modelos cognitivos y también lo hacen las especies primitivas de primates antropoides. Es así que los antiguos modelos científicos tienen que ver con espacio, geometría y cadenas de causa-efecto.

2- Los modelos mentales detectan imperfecciones en nuestras percepciones. Descubrimos que la realidad, tal como la vemos, puede ser un juego de sombras. La metáfora de Platón que describe a hombres que habitan una caverna y que sólo cono-

cen del mundo exterior por sus sombras, ilustra este fenómeno, tal como lo pinta Rob Gonsalves. Por ello la ciencia moderna busca apoyarse en instrumentos y en datos desde una variedad de fuentes para validar los modelos.

3- La necesidad de corroborar el conocimiento adquirido requiere teorías científicas que admitan la falsación. Ello es facilitado por modelos numéricos que permitan predicciones cuantitativas que puedan comprobarse como falsas con facilidad.

4- El desarrollo ulterior de modelos científicos produce la metaciencia y la búsqueda de consiliencia. Los modelos transcienden las disciplinas individuales pero aun así buscan redes de anclaje para contactar la realidad.

No todos los desarrollos culturales conducen a la ciencia. Un desarrollo alternativo que la aleja de la humanidad incluye algunos de los pasos siguientes:

1- Nuestros modelos mentales se hacen tan eficientes para explicar nuestras experiencias que raramente perdemos tiempo en establecer contacto con la realidad. El mundo virtual se vuelve la realidad. Esto nos lleva a construir modelos que no están limitados o constreñidos por la realidad. Los procesos mentales se vuelven surrealistas y fantásticos. La libertad ganada a la realidad permite exploraciones de nuestras fantasías que nos llevan a mundos mentales que parecen infinitos y asombrosos.

2- La construcción de modelos y marcos mentales que no requieren una validación continua con la realidad permite desarrollos muy rápidos y produce una cantidad impresionante de trabajo intelectual. Para ello es suficiente basar los argumentos y sus cadenas lógicas de pensamiento en alguna autoridad ampliamente respetada (por ejemplo Aristóteles o Platón).

Esta práctica produce una actividad académica sin interés en establecer otro contacto con la realidad más que el originalmente realizado por la autoridad de referencia de la disciplina, no tomando en cuenta que en la actualidad la humanidad percibe dicha realidad de una manera distinta. Nuestros medios para explorar a la naturaleza son, ahora, incomparablemente más sofisticados y precisos de lo que cualquiera de nuestros antepasados hubiera podido soñar.

3- El modelo sustituye a la vida real constituyéndose en dogma, dando nacimiento a la religión y al concepto postmoderno de la disolución de los límites entre ilusión y realidad. Este modelaje, sin contacto con la realidad de manera rigurosa, es la base de una serie de modos de pensar no científicos. La falta de validación experimental de constructos mentales, que permite la aparición de gran cantidad de literatura, hizo que ni el escritor ni el lector puedan distinguir entre realidad y fantasía, sueños e historia real, experiencia e imaginación.

Podríamos destacar, a manera de resumen de esta manera de analizar la historia, unos pocos pasos importantes que dan lugar a la emergencia evolutiva del pensamiento científico claro. Si se acepta que el progreso científico es discontinuo y que ninguna secuencia lineal es apropiada para explicar los desafíos que nuestra mente ha encontrado a lo largo de su evolución, una aproximación grosera a algunos de los pasos importantes en la evolución de la ciencia moderna deberían incluir:

1- *Supervivencia*: Desarrollo de características para la vida en condiciones adversas adquiridas al azar, expresadas incluso por las amebas que se desplazan aleatoriamente.

2- *Búsqueda*: Hallar comida o abrigo, propio de todos los animales.

3- *Planificación*: Crear imágenes o copias de la realidad a fin de planear estrategias de búsqueda de comida que optimicen las acciones, como, por ejemplo, las que aplican por algunas especies de animales cuando eligen el camino más corto.

4- *Pensamiento*: Crear acciones en un espacio imaginado.

5- *Conciencia*: Incluir al pensador como actor en la realidad imaginada.

6- *Empatía*: Incluir a la mente del otro como actor de la realidad (yo sé que tú sabes).

7- *Realismo*: Reconocer que el hábito de sustituir la realidad por la realidad imaginada (idealismo) aunque importante, sólo produce aproximaciones de la realidad sin sustituirla.

8- *Ciencia*: La interacción entre el análisis deductivo, el experimento, el reduccionismo y la inducción, conduce a una relación dialéctica entre la realidad y la realidad imaginada, modulada por el experimento.

9- *Teoría científica*: Una abstracción de la realidad que permite planificar de manera eficiente.

Emergencia de la metaciencia

Detalle de *Cascada* de M.C. Escher

Las diferentes disciplinas de las ciencias sociales y naturales se encuentran en distintos niveles de desarrollo. Las hay más jóvenes y otras más maduras. Si copiamos la terminología usada para la descripción de la evolución de las sociedades de insectos, podríamos postular diversos niveles del esfuerzo científico.

1- El primero sería el nivel precientífico, en el cual el esfuerzo humano obliga a la racionalidad, esto es, a seguir pasos

lógicos en el pensamiento que encadenen una serie de ideas en un cuerpo conceptual coherente, tal como lo hicieron Pitágoras, Sócrates, Aristóteles y algunos filósofos antiguos y actuales.

2- Un segundo paso, representado por la paraciencia, en el cual el esfuerzo humano está dedicado a describir la naturaleza. Aquí ya no sólo es importante que la descripción sea racional sino que además debe ajustarse a lo que se observa de la naturaleza. La paraciencia fue practicada por todos los filósofos naturales, investigadores de historia natural y actuales taxónomos y antropólogos, entre muchos otros.

3- Un tercer nivel involucra a la verdadera ciencia o "euciencia" (del modo griego *eu* que significa verdadero), tal como fue popularizada por Galileo y en la cual tanto la teoría como el experimento son partes importantes para la racionalización de la realidad. Los resultados experimentales conservan la prioridad sobre los conceptos teóricos. Las disciplinas que satisfacen los criterios de la "euciencia" pertenecen en su mayoría a la física y a la química, a la biología molecular y de poblaciones, entre otras.

4- Otros esfuerzos humanos racionales y heurísticos que, o bien no tienen una confirmación experimental de la teoría, o bien no son falsables en primera instancia, se autodenominan científicos. Tales esfuerzos pueden ser clasificados como seudociencia.

5- Para describir y entender fenómenos complejos se requiere de modelos teóricos realizados con la ayuda de computadores y que proveen predicciones falsables parcialmente. Es el caso de la meteorología, fenómenos turbulentos, cosmología y evolución biológica. Este esfuerzo no es "eucientífico" puesto que

> las teorías que soportan los modelos numéricos son constructos complejos que no pueden ser falsados globalmente, aunque pueden serlo cada una de sus partes. La falsación y la construcción teórica se realizan utilizando computadores, inteligencia artificial y búsqueda de conciliencia. Esta actividad puede ser clasificada como metaciencia.

Las metaciencias más desarrolladas hoy día son probablemente las que involucran a la meteorología, la hidrología y la dinámica de fluidos. Otro ejemplo, en una tentativa para crear el marco conceptual para el estudio interdisciplinario de temas que comprenden la biología, la sociología, la política, la historia, la economía y otras disciplinas, incluye las simulaciones sociales, la inteligencia artificial, la teoría de la complejidad y la sociodinámica. El marco de la metaciencia tiene que estar basado en principios que, en última instancia, sean reducibles a las leyes de todas las ciencias naturales, o consilientes con éstas. La solidez de este marco podría ser comprobada con modelos de simulación que permitan la realización de experimentos virtuales en sistemas complejos. Una predicción específica basada en estos resultados podría así ser formulada y sometida a la comprobación de la realidad. De esta manera la física desarrolla la meteorología, las ciencias del clima global o la química teórica. Intentos similares de construir una metaciencia a partir de la biología son más recientes (vida artificial, por ejemplo) y muchos comienzan a ser falsables mediante experimentos naturales. Otro ejemplo es la aplicación a una creciente gama de fenómenos de la teoría de juegos, esto es, el estudio del efecto de mecanismos específicos de toma de decisiones sobre la dinámica de un conjunto de individuos, generando así las bases para una metaciencia que incluye biología, sociología y economía. Esto provee, entre otras cosas, explicaciones para la emergencia y sostenimiento de las sociedades. Un marco metodológico para la metaciencia falta aún y hay

que recorrer un largo camino para cerrar la brecha entre las ciencias naturales y las sociales.

Estudio de la dinámica social

Muchos fenómenos dinámicos complejos, que por largo tiempo se pensó que escapaban del dominio de las ciencias naturales, ahora caen en el de las metaciencias. Esto nos permite construir una base científica para entender de una manera más profunda la trama interactiva del comportamiento biológico, social y económico. El estudio de la dinámica social irreversible está adquiriendo el carácter de una ciencia interdisciplinaria experimental y cuantitativa, que recurre a la biología evolutiva, a la termodinámica, a la física y a la computación. Gran cantidad de estos esfuerzos buscan cerrar la brecha existente entre las ciencias sociales y las naturales, manteniendo la consiliencia entre ellas y apoyándose fuertemente en enfoques interdisciplinarios. Sin embargo, cualquier esfuerzo inter y multidisciplinario está lleno de trampas apropiadas para engañar a los científicos incautos que incursionan fuera del terreno familiar de su especialización. Sólo con la investigación multi e interdisciplinaria será posible, al mismo tiempo, atacar de forma satisfactoria los problemas complejos que son relevantes para el futuro de la humanidad. Es decir, se hace necesario avanzar en una jungla de conocimiento complejo, aun cuando estemos conscientes de que podemos caer en más de una trampa cognoscitiva. No hay otra alternativa para nuestra comprensión de los fenómenos humanos. Debemos darnos cuenta del valor heurístico de una teoría: es tan importante que la teoría permita el avance de otras, aun cuando se demuestre que es errónea, como demostrar que es correcta en todos sus detalles.

Un concepto falso, común entre los científicos naturales, es que las ciencias sociales no tratan con herramientas matemáticas sofis-

ticadas, cuando en verdad lo hacen. Por otra parte, a menudo los científicos sociales y muchos legos tienen la impresión de que gran cantidad de fenómenos en las ciencias naturales son descritos por leyes deterministas lineales. Sin embargo, ellas están llenas de fenómenos aleatorios y de fenómenos que no son lineales en la naturaleza, esto es, en los cuales no existe una relación matemática sencilla entre las variables que los describen. Esta falta de reconocimiento que de que todas las leyes de las ciencias naturales no son más que aproximaciones simplificadas a la realidad, ha producido interpretaciones o versiones simplistas peligrosas en el dominio de las ciencias sociales con lo cual se desacreditan los esfuerzos para trasladar métodos de las primeras a las segundas. Por ejemplo, una interpretación simplista de las fuerzas darwinianas que rigen el comportamiento social humano, iguala el comportamiento de los mercados económicos con la regla de la supervivencia del más fuerte. Esto ignora que la evolución biológica es de naturaleza altamente aleatoria y que es mejor describirla como la supervivencia del más afortunado y no del más fuerte. La diferencia principal entre las ciencias naturales y otras es que el método científico se aplica de forma más rigurosa en aquellas. Es decir, la evidencia experimental puede invalidar cualquier marco conceptual. La aplicación incondicional de esta regla al estudio de los fenómenos sociales entre humanos puede producir al final una "euciencia" del comportamiento humano y de su sociedad.

De la conciencia individual al conocimiento social

Todas las criaturas vivientes tienen un nivel básico de conciencia: ellas reciben información del mundo exterior y diferencian esta información de la que reciben de su propio organismo. La calidad del procesamiento de la información es lo que define los diferentes niveles de conciencia. Un nivel que podría ser reconocido como

conciencia incluiría un sistema de percepción del organismo que no sólo diferenciara los estímulos provenientes del mundo exterior de los provenientes del interior del organismo, sino que también pudiera percibirse a sí mismo dentro de su entorno. Un paso siguiente en la escala de niveles de conciencia, incluiría herramientas mentales que permitirían al organismo, no sólo verse inmerso en su entorno, sino que también podría modelar, imaginar o predecir el resultado de una acción específica sobre el entorno y, naturalmente, de éste sobre sí mismo. El siguiente escalón, que nos llevaría a la definición de conciencia dada por John Locke en 1690, incluiría "la percepción de lo que pasa por la propia mente". Otro escalón nos conducirá a la definición dada por la *Encyclopaedia Britannica* según la cual la conciencia es el reconocimiento de que parte del entorno pertenece a la estructura social, compuesta por individuos de la misma especie que interactúan entre ellos, lo cual permite obtener beneficios para todos los participantes (o muchos de ellos) mediante la construcción de relaciones sinérgicas.

Las sociedades promueven interacciones entre individuos que, a menudo, en especial entre los machos, son de carácter competitivo. La frase del químico alemán Justus von Liebig resume el valor de la competencia en ciencia cuando dice: "Rara vez tengo una buena idea, pero cuando alguien viene con una, de inmediato se me ocurre otra mejor". La sociedad moderna depende cada vez más de la cooperación de sus miembros y lo mismo ocurre con la ciencia. El número promedio de autores por publicación científica aumenta de año en año y el científico solitario, aislado en su laboratorio, comunicándose sólo de tanto en tanto con sus colegas, es una imagen cada día más alejada de la realidad. Los complejos reticulados de colaboración en megaproyectos, la naturaleza interdisciplinaria e internacional de estas cooperaciones y el impacto que estos megaproyectos tienen en la ciencia y en la

sociedad, hacen que aquellos sean cada vez más comunes e importantes. La ciencia es hoy no una actividad realizada por científicos aislados sino que cada vez más es una actividad que depende de los demás.

Gran parte del éxito de la ciencia y de sus ejércitos de científicos que hacen avanzar las fronteras del conocimiento depende de la información. Ningún adelanto en la ciencia moderna es posible sin un flujo eficiente de información entre generaciones (mediante libros y artículos viejos) y entre científicos que producen nueva información (mediante correspondencia, publicaciones y congresos). Gran cantidad de nuevo conocimiento se logra a través de novedosas maneras de recolectar el flujo de información de la sociedad. La extracción de datos de la información disponible en la Internet, la construcción de grandes bases de datos y el número creciente de periódicos científicos disponibles en línea sin costo, son ejemplos de este nuevo estado de cosas que configuran la así llamada Sociedad de la Información. Esto implica que la base de la creatividad no está sólo en la mente de un científico individual sino en el poder cerebral colectivo de una comunidad de científicos.

El conocimiento colectivo o agregado (la conciencia social) es de fundamental importancia cuando se considera el progreso de las metaciencias y la búsqueda eficiente por la consiliencia entre las ciencias emergentes. La ciencia futura estará restringida en gran parte por el grado y tipo de socialidad que la comunidad científica desarrollará. Una comprensión de estas restricciones sólo será posible si se entienden las interacciones entre el individuo y la sociedad y si se reconocen las propiedades que emergen de esta dinámica.

La definición dada por la *Encyclopaedia Britannica* para conciencia es: “un sentido personal de bienestar moral o de culpabilidad de la propia conducta, intenciones o carácter en

relación a una sensación de obligación de hacerlo bien o de ser bueno".

Este proceso de fundir la conciencia individual con la social es un fenómeno que ha comenzado pero que no parece haber terminado. La sociedad moderna y en especial la comunidad científica están desarrollando nuevas instituciones para solidificar este proceso. Parece que la humanidad tiene que andar todavía un trecho antes de constituir una sociedad sostenible, estable y equilibrada. La comunidad científica y la institución que está creando funcionan como una especie de vanguardia para la experimentación social. La Internet fue desarrollada por los científicos para poder comunicarse eficientemente entre ellos y ahora es parte de la vida diaria de una gran porción de los ciudadanos de los países desarrollados. También son utilizados cada vez más por los ciudadanos corrientes otros medios de comunicación y de aprovechamiento y manejo de la información, en sus orígenes gestados por y para científicos. Revisión por los pares, acceso abierto a la información, toma de decisiones por consenso, evaluación del consejo de expertos y prueba experimental sobre las creencias de las mayorías, son todos aspectos de la comunidad científica que algún día podrían volcarse sobre las otras partes de la sociedad.

Preguntas futuras para la metaciencia

Es probable que aparezcan nuevas disciplinas al desarrollarse más actividades interdisciplinarias de la metaciencia. La lista de las nuevas disciplinas es infinita y, si tomamos en cuenta la "ramificación" (*Raumzweigung*) de la realidad, los intentos de producir un listado completo de posibles nuevas preguntas científicas serían infructuosos. Aquí presentaré unas pocas disciplinas que podrían surgir al continuar los intentos de la humanidad de cerrar la brecha entre ciencias sociales y naturales, o entre filosofía

natural y moral. Esta lista pretende ayudar a tener una percepción de algunas áreas de la actividad científica futura a fin de estimular la creatividad de los lectores.

1- ¿Cuáles son los mecanismos de la dinámica existente entre la economía y la política?

2- ¿Cómo afectan al crecimiento económico los diferentes umbrales de motivación (por ejemplo, gradiente de salarios)?

3- ¿Cuáles son las diferencias entre ciencia e ingeniería? ¿Tienen estas actitudes diferentes algún efecto sobre el mundo político y social?

4- ¿Cuál es el impacto de la TV y otros medios? Las noticias distorsionan la realidad al presentar lo excepcional como corriente e ignorando lo corriente. La Internet podría restituir el equilibrio entre lo corriente y lo excepcional, pero ciertas sociedades futuras estarán afectadas por la manera en que la información es recogida, almacenada y distribuida.

5- Esperanza y liderazgo han estado inseparablemente entretejidos. El ejemplo más extremo de promesas futuras lo proveen las religiones en las cuales la muerte o la vida eterna son utilizadas como horizonte temporal para la recompensa de sacrificios actuales. Perspectivas futuras de acción política podrían producir nuevas organizaciones sociales con un liderazgo descentralizado. En tal caso, la ciencia desempeñará un papel central en el análisis de esas nuevas realidades.

6- Las enfermedades y las deformaciones psicológicas como limitación para el crecimiento económico que son afectadas por condiciones ecológicas (por ejemplo, ambiente tropical *vs* templado).

7- Cuestiones bioeconómicas en las cuales, por ejemplo, el

parasitismo puede ser estudiado como una forma de acumulación de riqueza en los humanos y el gobierno puede ser percibido como modulador de la selección natural, favoreciendo, digamos, el cambio gradual, enfocando horizontes temporales de largo plazo y deteniendo o revirtiendo la selección para rasgos específicos.

8- ¿Cómo se desempeñan individuos racionales en un océano de irracionales? (Operadores racionales, operadores irracionales con un poquito de racionalidad –políticos–, totalmente irracionales, –¿masas?).

9- ¿Cómo interactúan la democracia y la información? La distribución uniforme de información optimiza la democracia al maximizar la eficiencia de la toma de decisiones. Una distribución no uniforme de información produce una democracia deficiente que puede ser superada con tres situaciones diferentes: 1- Distribuyendo la información para construir la capacidad de entender las cuestiones relevantes; 2- Seleccionando capacidades y restringiendo la democracia, según las cuestiones, a los informados sobre éstas; 3- Construir una meritocracia.

10- ¿Cómo puede ser manejado el egoísmo más eficientemente en las sociedades futuras? Por ejemplo, el sistema Wali practicado durante el imperio otomano estaba basado en la legalización de la corrupción distribuyendo los cargos gubernamentales por subastas.

11- ¿Cuál es el efecto de los diferentes sistemas de transmisión de la información en la estructura social? Por ejemplo, la clase de tradición familiar común en una cultura dada afectará a la sociedad. Dos tipos de culturas en relación con la transmisión de información se nos ocurren: los empresarios chinos se

apoyan en la transmisión vertical de la información y en redes familiares, mientras que la sociedad de la información global, como ocurre con el sistema mundial de publicaciones científicas, está basada, en principio, más en la meritocracia, asignando el mejor preparado a tareas específicas. ¿Cómo fluye la información en cada sistema y a qué velocidad? ¿Cuáles son las restricciones de las redes familiares?

12- La ciencia social del futuro necesitará proporcionar modelos cuantitativos y predictivos que expliquen en detalle fenómenos sociales fundamentales tales como la trampa de la pobreza, la difusión de la innovación, la relación entre educación y crecimiento económico y la emergencia de reglas macroeconómicas.

13- ¿Cómo medir la eficiencia de los diferentes tipos de sinergia?

14- ¿Cómo cuantificar características culturales? Una valoración cuantitativa fina de los rasgos culturales nos permitiría, por ejemplo, trazar la historia de la parte de la población dedicada a la adquisición de conocimientos y del costo económico invertido por la sociedad en este esfuerzo. Este estudio podría incluir a sociedades de animales, como las hormigas, y sociedades de humanos como los Yanomani, el antiguo Egipto y países modernos, desarrollados o en vía de desarrollo.

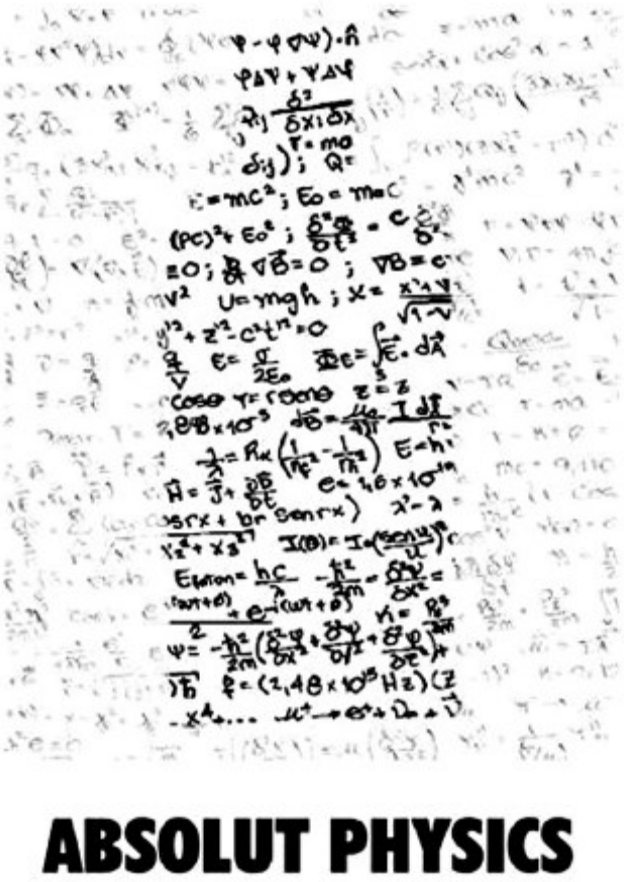


Ilustración de Lorena Jaffé

Muchas cualidades racionales se asocian con la ciencia. Algunas de ellas pueden añadir algún valor al trabajo científico en una determinada área o en un determinado momento, pero ninguna de ellas es parte esencial del método científico. Algunas de estas cualidades

son:

1- El pensamiento escolástico lógico verbal o la deducción racional sin experimento son, ciertamente, aspectos importantes en la construcción de teorías y son esenciales para la ciencia. Sin embargo, el pensamiento lógico sin consideración del experimento y que deja como árbitro final a la conciencia individual no es científico.

2- Creer en la certeza sin dejar lugar para la duda no es científico. Aunque algunas teorías pueden haber alcanzado altos niveles de certidumbre, la duda o una actitud escéptica es parte de la ciencia y cualquier teoría puede ser invalidada por nuevos hechos.

3- Las teorías simples se apoyan en cadenas de relaciones causales, o causalidad, para explicar los fenómenos de la naturaleza. Las más modernas están basadas en teorías estadísticas y tienden a usar relaciones causales que reconocen lo aleatorio como explicación. Parecería que la verdad no es absoluta ya que contiene componentes estocásticos.

4- La simetría y una clara formulación matemática son a menudo parte de una buena teoría. Pero la expresión matemática de las ideas no es suficiente para demostrar que son verdaderas. La verificación experimental es esencial, aunque las matemáticas puedan ayudan en la tarea. Teorizar matemáticamente sin tomar en cuenta al experimento no es científico, como ocurre, por ejemplo, con la Cábala, la numerología y adivinaciones basadas en números.

5- Se piensa, a menudo, que el manejo riguroso de los datos puede ser suficiente para calificar el esfuerzo como científico. Es la refutabilidad, sin embargo, la que diferenciará como científicas o no a las teorías obtenidas de tales datos.

6- Separar errores prácticos de los teóricos. Con frecuencia una teoría no es capaz de predecir resultados prácticos de los fenómenos que aspira a describir y la falta de falsación se asigna justamente a los errores prácticos que no tienen nada que ver con la teoría. Esto no es ciencia.

7- Las palabras pronunciadas por Albert Einstein es posible que sean más valiosas que las pronunciadas por Pedro Pérez. Sin embargo, incluso Einstein estaba muchas veces equivocado. O sea, las aseveraciones de autoridades, por más distinguidas que sean, citadas en las publicaciones académicas no sustituyen a la prueba rigurosa de los hechos. Los trabajos publicados que basan sus conclusiones principalmente en citas de autoridades no son científicos.

Pero el disfraz más peligroso de las formas no científicas del pensamiento son la seudociencia unida a algunos charlatanes, artistas del verbo, que la difunden. En la conciencia popular ello se confunde a menudo con ciencia. Exploremos un poco más estos disfraces.

¿Qué caracteriza a la seudociencia?

Muchas actividades humanas tratan de recoger los frutos del éxito de la ciencia; algunas de ellas lo hacen tratando de capturar sólo algo de la aureola que rodea al método científico. Muchos de estos intentos son claramente anticientíficos o no científicos disfrazados de ciencia y los llamaremos seudociencias. Basándome en los artículos "Pseudociencia y cultura de masas" de J. Medin y E. Núñez, publicado en *Milenio,* 9-32 y "Los principios de la ciencia falsa" por J. Torres, también en *Milenio,* 61-70, de la Universidad de Puerto Rico, publicados en 2001, presentaré a continuación una lista reducida, pero representativa, de las características de la

seudociencia:

1- *La ausencia de falsación* o la construcción de hipótesis irrefutables. Este es el caso entre muchos parapsicólogos que pretenden que las facultades extrasensoriales sólo pueden ser observadas si las personas presentes creen en ellas. Por ello no es posible realizar una prueba experimental que demuestre la veracidad de tales facultades.

2- *La búsqueda de la verdad examinando textos sagrados*. Si se supone que un texto, como la Biblia o las tablas astrológicas, es verdadero sin recurso de falsación, entonces todas las conclusiones extraídas del análisis de este texto no son falsables. Esta característica es común entre los seguidores irracionales de grandes pensadores y científicos. Algunas escuelas de psicoanálisis, homeópatas, astrólogos, marxistas, keynesianos, darwinistas, aristotélicos y muchos otros, extraen su sabiduría del fundador de la respectiva disciplina quien pudo haber aplicado el método científico, pero la aceptación acrítica e irracional de estos textos hace que sus seguidores no sean científicos.

3- *La interpretación de escenarios*: Algunos usan cristales para curar enfermedades, en la suposición de que fuerzas desconocidas afectan a nuestra fisiología y que su utilización apropiada garantizará el resultado correcto. Las fallas eventuales se atribuyen a procedimientos equivocados y no al método en sí.

4- *Mezclar metáfora con la realidad*: La astrología, la lectura de cartas y otras nigromancias basan su búsqueda de la verdad encontrando semejanzas entre las señales y la realidad. Todo desajuste será atribuido a una mala interpretación y nunca falsará el método.

5- *El dogma de la mayoría*: Si mucha gente cree que la Tierra es

plana, ello no demuestra como falso que la Tierra es redonda. Los hechos científicos tienen poco que ver con la lógica de las masas. Los magos, aunque ciertamente no charlatanes porque reconocen que están realizando trucos y proclaman que sólo venden ilusiones, son muy buenos con este argumento. Ellos insisten muchas veces diciendo que su sombrero está vacío antes de extraer un pato del mismo. Pronunciar la palabra vacío muchas veces no hace que el sombrero esté vacío. Aunque para la intuición humana, la mentira repetida muchas veces se hace verdad.

6- *La falta de un marco conceptual confiable*: Los homeópatas basan su práctica en la idea de que causas similares producen enfermedades similares. O sea, que si uno tiene, por ejemplo, fiebre ocasionada por malaria entonces una poción que produce fiebre o que tiene algunos componentes de los tóxicos de la malaria debería ser apropiada para controlar la enfermedad. Estos conceptos seudoracionales no están basados en ninguna teoría verificable y por lo tanto nunca podrán ser considerados como científicos.

7- *Métodos arcaicos*: El cambio del tema de nuestra atención o del método de estudio con frecuencia hace que no sea falsable. Muchos charlatanes, cuando explican su seudociencia parecen más abogados que científicos. El uso abundante de conceptos pobremente definidos hace imposible seguir sus argumentos lógicamente y, en consecuencia, refutarlos.

8- *Lo que parece un misterio debe ser un misterio*: Las idealizaciones románticas de la información conducen a menudo a conclusiones falsas. Los misterios de Loch Ness y del triángulo de las Bermudas lo son porque no sabemos qué pasa allí en realidad. Las descripciones nebulosas desatan nuestras

fantasías y hacen que el tema sea de interés. La búsqueda de la verdad no es bienvenida para los conservadores del misterio.

9- *Manejo descuidado de la evidencia*: La suposición como evidencia de cuentos de camino conduce a creencias irracionales. Esta y otras fallas, tales como confundir correlaciones con conexiones causales, o suponer que si uno ve algo tres veces debe ser estadísticamente relevante, son procedimientos típicos de los seudocientíficos.

10- *Inmunidad a la crítica*: Los fanáticos son inmunes a cualquier evidencia de que están equivocados y muchos seudocientíficos son inmunes a la crítica. Ni unos ni otros desean conocer la verdad. Son felices con lo que creen y no tienen interés en mejor y más conocimiento.

11- *La falta de progreso*: Cualquier actividad heurística que, luego de haberse establecido, no cambia ni puede cambiar nuestra comprensión de la naturaleza o de nosotros mismos, no es científica. La astrología, la homeopatía y la parapsicología de hace dos siglos apenas se diferencian de las que se practican actualmente, mientras que la química, la biología, la astronomía de hace unos pocos años son muy diferentes de lo que aceptamos hoy como verdadero. Es el avance mensurable del conocimiento lo que hace de la ciencia una herramienta heurística tan poderosa. Con dificultad podría llamarse ciencia a una actividad humana que no muestre tal progreso.

12- *Irracionalidad*: La falta de pensamiento lógico, dificultad en establecer cadenas de causación y descuido en la construcción de modelos mentales coherentes contribuyen a menudo a la seudociencia (ver también *The Enemy Within*, Stuart Sutheland, Penguin, 1994).

13- *Confundir método con ciencia*: Tampoco es ciencia ceñirse a

un marco metodológico específico y descalificando, como no científico, todo enfoque de la realidad que no entre en ese marco.

El arte de la charlatanería

Se requieren habilidades excepcionales para convencer al prójimo de muchas cosas. La argumentación verbal constituye la forma natural para convencer a un niño a que obedezca las reglas sociales y enmiende su comportamiento cuando es necesario. Ello forma parte de instintos humanos profundamente enraizados que afectan la manera como pensamos y tomamos decisiones. Y, por supuesto, algunas personas están mejor dotadas que otras para utilizar argumentos verbales. El uso de éstos de manera no científica, descartando las evidencias empíricas pero pretendiendo ser científicos, se llama charlatanería. Los charlatanes tuvieron mucho éxito en tiempos pasados y continúan teniéndolo en la sociedad moderna.

El éxito de la ciencia tiene sus inconvenientes. El dominio de las fuerzas que modulan la interacción de las partículas constituyentes de la materia llevó a la fabricación de la bomba atómica; el estudio de los hongos llevó al descubrimiento de la penicilina y otros antibióticos, que permitieron la cura de numerosas enfermedades haciendo que muchas personas puedan vivir con salud cuando podían haber sucumbido a la infección. Eventos como estos transmitieron la sensación de que la ciencia es todopoderosa. Esto hace que gran cantidad de personas se acerque a su prestigio y poder sin involucrarse en las penurias de practicarla realmente. La charlatanería no es nueva y es posible que nunca se extinga, pero hoy día muchos charlatanes se venden como científicos. Pareciera, pues, apropiado elaborar una taxonomía que pudiera ser de ayuda para desacreditarlos:

1- *Parapsicología*: Es la búsqueda seudocientífica de fenómenos paranormales, tales como la telepatía, la clarividencia, precognición, telequinesis y otras manifestaciones de capacidades extrasensoriales.

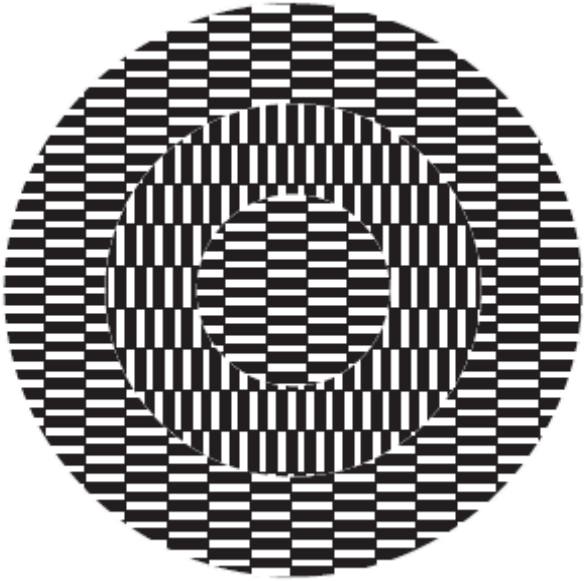
2- *Astrología*: Relacionada con el estudio de supuestos efectos de estrellas y planetas sobre la vida humana y otros eventos terrestres, según sus posiciones en el cielo.

3- *Ufología*: Estudia las aparentes visitas de vida extraterrestre a nuestro planeta.

4- *Creacionismo*: Postula que todas las especies animales han sido creadas por decreto divino y que no han experimentado la evolución biológica.

5- *Seudoeconomía*: Aquí se confunde la difusión de una cierta ideología con el estudio de los fenómenos económicos. Los marxistas fanáticos y los defensores a ultranza de las privatizaciones pueden ser incluidos en este grupo.

La historia nos ha enseñado que algunas seudociencias, la alquimia y la hipnosis, por ejemplo, se han convertido en ciencias (química y psicología). Estos eventos, sin embargo, ocurrieron a causa del reconocimiento y establecimiento de la ciencia como corriente principal del pensamiento.



La ilusión de *Ouchi* por Bruno y Bressan, 1994

Los límites de la razón

La razón humana… es invocada para considerar cuestiones que no puede rechazar porque son planteadas por su propia naturaleza, pero que no puede responder porque transcienden las facultades de la mente.
Immanuel Kant

Es más probable que la verdad surja del error que de la confusión.
Francis Bacon

La persona que está segura de tener razón casi con seguridad está equivocada; y tendrá,

además, la desgracia de seguir estándolo. Todas las teorías están sujetas a datos inciertos y todas requieren alteración y respaldo.
Michael Faraday

La ciencia y el pensamiento racional tienen, por supuesto, límites. Los límites de la mente son abundantes y es esencial para quien desee trabajar de forma racional tomar conciencia de ellos.

Una suposición fundamental de la ciencia, tal como se ha podido percibir a lo largo de este texto, es que nuestra mente fue moldeada por la evolución para resolver problemas de supervivencia en forma rápida y eficiente, mas no para asir la realidad en todos sus detalles multidimensionales. Como hemos visto, la racionalidad es limitada y hay restricciones para que funcione por su cuenta. La ciencia sin guía empírica no tiene posibilidades de existir, pero empirismo sin una comprensión racional tampoco. Por lo tanto, una comprensión más profunda del funcionamiento de nuestra mente es indispensable si deseamos entender a la ciencia como fenómeno social.

No puede separase la ciencia de los seres humanos. ¡Es un invento humano! En consecuencia, la comprensión y exploración de nuestros límites en relación con el pensamiento racional podría ayudarnos a evitar las trampas del pensamiento humano. Algunas de estas limitaciones son (siguiendo los conceptos de J. Medin y E. Núñez en "Pseudociencia y cultura de masas", *Milenio* 33-60, Universidad de Puerto Rico, 2001):

1- *Tendencia a subestimar la probabilidad de coincidencia*: A menudo pensamos en una tragedia y, de repente, unos días más tarde, la tragedia ocurre. Soñamos que nos encontramos con una persona que no vemos hace tiempo y he aquí que la encontramos en la calle. ¿Cómo es posible esto? ¿Será que no

se trata de meras coincidencias? Sin embargo, las coincidencias ocurren. Incluso científicos entrenados subestiman las probabilidades asociadas con las coincidencias. El ejemplo clásico es el de la probabilidad de encontrar dos personas con la misma fecha de nacimiento en una reunión de, por ejemplo, 30 participantes. Mucha gente supone que esta probabilidad es muy pequeña cuando en verdad es muy alta (71%). De modo que cada vez que vamos a una reunión deberíamos sorprendernos de no encontrar coincidencia en fechas de nacimiento, nombres, características familiares, etc.

2- *Falta de apreciación del azar*: Cuando se les pide escribir una serie de números al azar, muchas personas evitarán repetir el mismo número consecutivamente. Sin embargo, es muy frecuente encontrar distribuciones de números al azar que contienen series de números consecutivos iguales.

3- *Tendencia de saltar a conclusiones*: La falta de un sentido preciso de las probabilidades estadísticas hace que saltemos a conclusiones luego de haber analizado unos pocos eventos. La necesidad de construir modelos generales que permitan tomar decisiones rápidamente para responder a las exigencias urgentes del ambiente, significa también un estorbo para el pensamiento científico. El hecho de que en otros planetas puede haber condiciones para la vida nos lleva con frecuencia a suponer la existencia de la vida extraterrestre. Sin embargo, hay que completar muchos pasos antes de llegar con rigor científico a esta conclusión.

4- *Tendencia a percibir orden en estructuras aleatorias*: El valor adaptativo de nuestras habilidades para construir modelos y extraer conclusiones es claro. Necesitamos diseñar una ruta de escape que pueda engañar al tigre que viene corriendo, o

burlar a la hiena cuando cazamos por comida. La velocidad es más importante que la exactitud. Para la ciencia, sin embargo, las prioridades no son las mismas. Cuando observamos estructuras o series producidas al azar puede encontrarse esta diferencia. Somos rápidos para encontrar regularidades, aun cuando no existan. Peor todavía, una vez que creemos percibir un patrón es difícil cambiar de opinión. Insistimos en ver esos patrones incluso en otras circunstancias. Creemos que las constelaciones de estrellas repiten formas humanas y de animales que nos son familiares. Rocas, piedras, montañas y nubes muestran caras o figuras que reconocemos. Ciertas señales de la naturaleza están asociadas con éxitos o fracasos en deportes y en política. Incluso algunos científicos aparentemente sobrios veían canales en la superficie de Marte antes de que las fotografías del satélite corrigieran tales distorsiones psicovisuales.

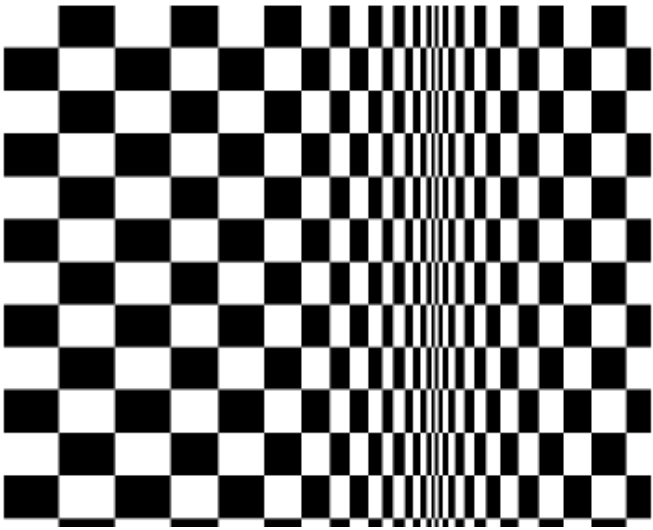
5- *Tendencia a detectar correlaciones espurias*: La superstición es el resultado lógico de una mente hipersensitiva respecto a la detección de coincidencias. Esto se debe a que las correlaciones entre eventos no suelen analizarse con rigor estadístico. Uno o dos eventos correlacionados con un accidente trágico son suficientes para establecer una correlación vitalicia entre ellos. La fobias, los miedos irracionales y las supersticiones son muy comunes. El experimento de Barry Singer bajo condiciones controladas muestra este efecto sorprendente. A un grupo de personas se le entregó un conjunto de problemas que no tenía solución. Cuando estos sujetos entregaron al experimentador sus supuestas soluciones, el experimentador informó al azar si eran correctas o no. Con esta información falsa y aleatoria los sujetos experimentales produjeron las teorías más fantásticas.

Ello ocurre también en ratas. Si éstas son entrenadas para obtener agua mediante la presión sobre una manilla, a menudo asocian ciertas posiciones del cuerpo o ciertas secuencias en la acción con la recompensa, aunque no tengan nada que ver con ésta, desarrollando así un comportamiento supersticioso.

6- *Propensión a ignorar la evidencia desfavorable*: Un jugador de lotería es muy probable que recuerde las pocas ocasiones, si es que alguna vez le ocurrió, en que ganó: pero tendrá dificultad en contabilizar lo que gastó jugando durante los últimos años. Estas limitaciones ayudan a los adivinos y clarividentes que empobrecen a sus clientes con información difusa y mucha verborrea, en la seguridad de que éstos registrarán alguna coincidencia asombrosa que recordarán de aquí en adelante. Los fanáticos son famosos por ignorar la evidencia desfavorable y muchos de nosotros tenemos nuestra vena fanática en alguna parte, en su momento. Se requiere disciplina intelectual para aceptar los hechos tal como son y reacomodar nuestras teorías y modelos de la realidad si esos hechos no los respaldan. El pensamiento crítico no es una virtud intrínseca de la mente humana. Pensar con múltiples hipótesis y estar preparados para descartar a la favorita cuando los hechos no la respaldan es difícil aun para los científicos.

7- *Memoria constructiva y selectiva*: Las pistas de una investigación jurídica se apoyan mucho en la memoria de las víctimas y de los testigos para culpar al criminal. Sin embargo, numerosos estudios más controlados han revelado que la memoria es en verdad selectiva y que solemos inventar imágenes y recuerdos para llenar los vacíos de memoria. Se han encontrado tan a menudo deficiencias en nuestra memoria que, en los procedimientos judiciales modernos y avanzados, las declaraciones de los testigos y de las víctimas no son

suficientes para declarar culpable al presunto criminal. Muchos crasos errores fueron cometidos confiando en este débil atributo de nuestra mente. Por supuesto, esto también tiene ventajas adaptativas. Si la realidad debe reconstruirse con lo que se tiene a la mano, nuestra mente usará entonces sentimientos, expectativas y motivaciones para cerrar la brecha. Pero esto, de nuevo, no es aceptable para la ciencia. Hace más de medio siglo Allport y Postman suministraron un ejemplo clásico: repartieron fotografías de individuos blancos y de color a los estudiantes blancos de una universidad. Aunque en la foto había un individuo blanco que blandía un cuchillo, aproximadamente la mitad de los estudiantes respondieron que era un negro quien tenía el arma. Confiar sólo en la memoria no es recomendable y utilizar una libreta para anotar hasta la menor observación experimental o empírica es uno de los mejores consejos que un estudiante orientado hacia la ciencia debe tomar en cuenta.



¿Cómo hacer ciencia con una mente limitada y defectuosa?

Ningún logro científico es posible sin utilizar nuestra mente. Sin embargo, hemos mostrado que ésta tiene limitaciones y comete errores. ¿Cómo es posible, entonces, el avance en el conocimiento que manejamos de nosotros mismos y del mundo que nos rodea? Si queremos hacer progresar nuestro conocimiento no podemos cuestionar todos y cada uno de los conceptos que fundamentan a una disciplina. Aprender el balance fino entre aceptar la sabiduría del maestro y ser escéptico ante la información recibida no es fácil. A esto apunta precisamente el entrenamiento de los investigadores en ciencias. Cada disciplina tiene sus propias experiencias, reglas, herramientas y bases teóricas que hacen posible lograr el balance entre el conocimiento sobre el que se construyen teorías y se produce nuevo conocimiento y el escepticismo crítico que permite el progreso científico. La manera específica de manejar y utilizar una mente imperfecta en resolver estas disyuntivas es el arte de cada disciplina. Por ello, las incursiones interdisciplinarias tropiezan con obstáculos cuando extrapolan maneras de manejar ideas y herramientas desde una realidad a otra. El equilibrio preciso entre la confianza y el escepticismo es un arte que tiene que ser aprendido mediante la praxis y que varía algo de una disciplina a otra. No existe una receta simple para hacer buena ciencia siempre y en todas partes. No hay sustituto, al menos por ahora, de poner las "manos en el experimento", para aprender cómo funciona la ciencia y no hay manera de formar investigadores correctamente capacitados en poco tiempo sin una exploración práctica y extensa del método científico.

Intuición, reduccionismo y generalizaciones sintéticas

Es frecuente que las personas corrientes confundan método científico con reduccionismo. Es verdad que la ciencia se apoya

fuertemente en el reduccionismo, o sea en la simplificación de los problemas complejos y en el separar en pequeñas partes un problema. Cuando tratamos de estudiar sistemas o fenómenos complejos tenemos que reducir y simplificar nuestro objeto de estudio para poder avanzar en la comprensión de su funcionamiento. El reduccionismo no es exclusivo de la ciencia. A veces, los enfoques reduccionistas impiden ver fenómenos que emergen de la interacción de las partes de un sistema y por ello no siempre es apropiado. El reduccionismo puede convertirse en una limitación de la ciencia. Es como utilizar una lupa: se ven mejor los detalles pero se pierde la visión general. Por otro lado, los detalles se pierden cuando enfocamos lo general. Esta limitación de nuestra mente se aplica a la ciencia y puede ser importante para comprender características relevantes de nuestro mundo multidimensional. Cada vez se requiere más especialización para profundizar en lo desconocido, lo cual nos lleva a que cada vez sean más borrosas nuestras visiones generales. Por ello la ciencia tendrá que aumentar su inversión en técnicas que puedan extraer generalizaciones y que ayuden a conservar la miríada de informaciones detalladas en un todo coherente, a fin de manejar el cada vez más consiliente cuerpo de conocimiento. Este es uno de sus importantes desafíos futuros.

Hasta tanto la ciencia no esté en condiciones de atacar estos desafíos con éxito, la intuición humana prevalecerá para manejar los problemas y para sintetizar conclusiones en los dominios complejos. A lo largo de la historia la intuición ha demostrado ser de utilidad, lo cual no significa que esté exenta de errores y que tenga sus propias limitaciones. La intuición, sin embargo, no es un sustituto de la ciencia, aunque el conocimiento de cómo funciona sería un paso apropiado para el desarrollo del conocimiento de nosotros mismos. Sin embargo, en muchas esferas de la actividad

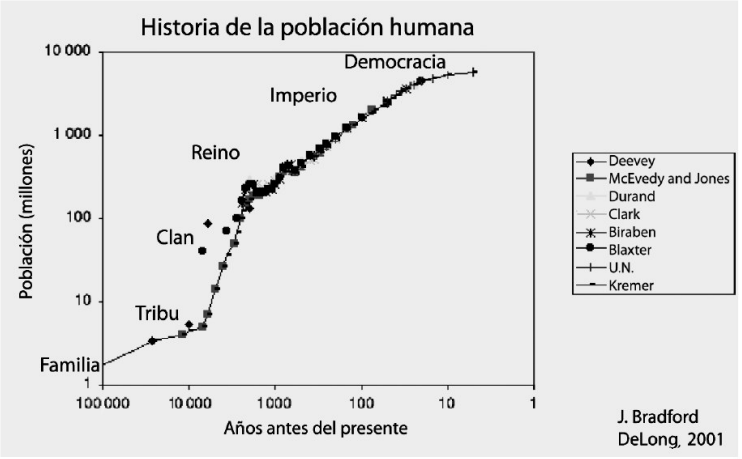
humana, la ciencia no dispone de conocimientos suficientes y deberá limitar sus pretensiones de explicar los problemas complejos y respetar el uso de la intuición por parte de individuos exitosos en manejar su intuición como lo son algunos políticos y gerentes.

CIENCIA Y SOCIEDAD

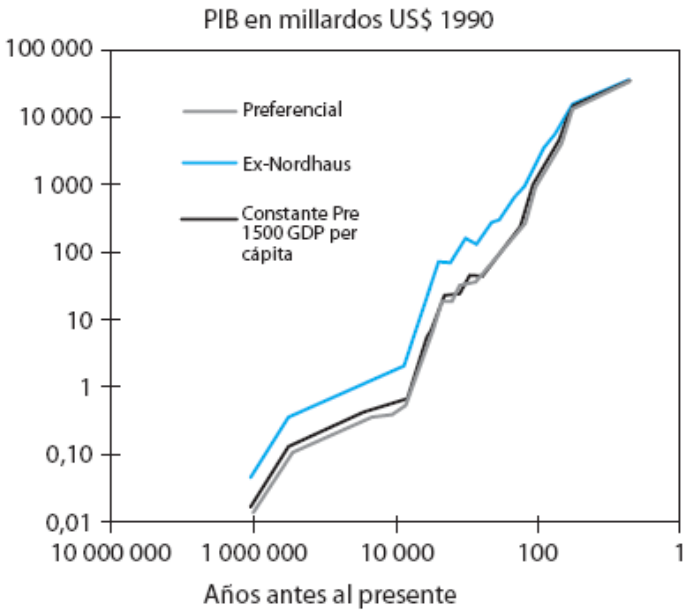
Todos los que estamos preocupados por la paz y por el triunfo de la razón y la justicia debemos estar bien conscientes de cuán pequeña es la influencia que la razón y los buenos deseos ejercerán sobre los acontecimientos en el campo político.
Albert Einstein

El impacto de la ciencia en la sociedad

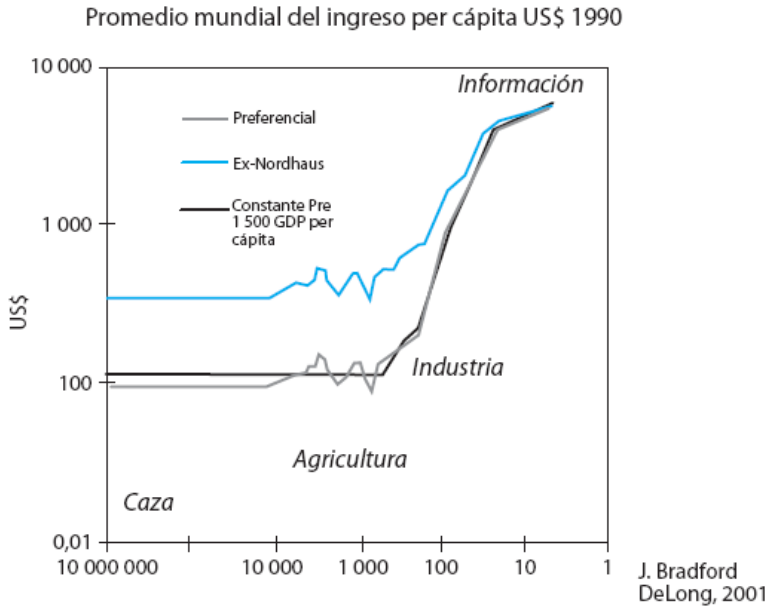
J. Bradford DeLong en 2001 (ver figura) muestra una aproximación ilustrativa del impacto de los desarrollos tecnológicos generados por la aparición de la ciencia sobre el conjunto de la actividad económica humana. Muchos autores están de acuerdo en que la población en nuestro planeta ha crecido notablemente como consecuencia de la "Revolución agrícola". Más alimentos permitieron alimentar a más gente. Sin embargo, otras evidencias sugieren que fue el crecimiento de la población lo que obligó a la humanidad a adoptar técnicas agrícolas que lo permitieran aumentar la producción de alimentos.



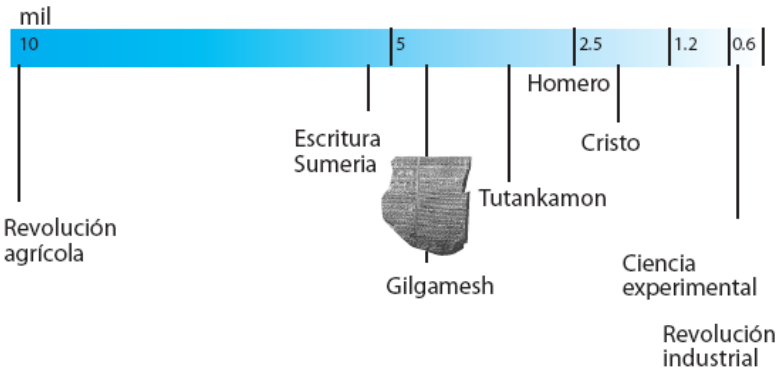
La consecuencia del aumento poblacional no implica sólo que hay más gente habitando el planeta, sino también produciendo algún tipo de bien, lo que, por supuesto, incrementa la riqueza agregada de la humanidad. Esto fue estimado por varios autores utilizando diferentes métodos y resumido por DeLong en la figura siguiente.



Sin embargo, la humanidad no ha experimentado una mejora significativa en el nivel per cápita después de la revolución agrícola. En muchas ocasiones pudo incluso haber sido peor en la medida en que hambrunas y epidemias afectaron asentamientos densamente poblados, mientras que era poco probable que ello ocurriera entre cazadores nómadas.



Fue sólo después de la revolución industrial que los humanos mejoraron como individuos, según puede apreciarse en las estimaciones que muestra la figura siguiente.



La gráfica marca también los dos eventos que más resaltan en una ventana temporal de diez milenios: la aparición de la palabra

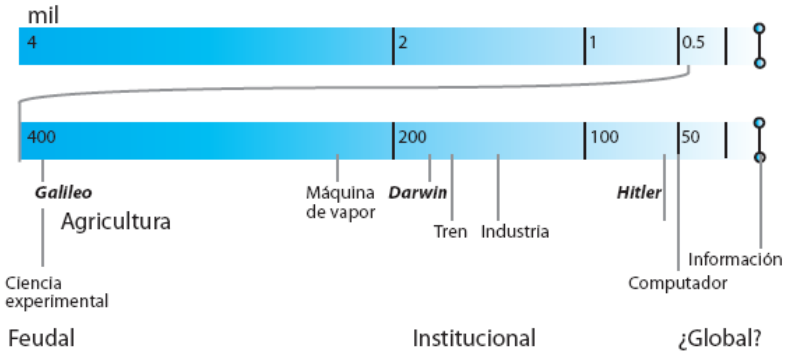
escrita, hace unos diez mil años y la emergencia de la ciencia experimental moderna hace unos pocos siglos. Sin embargo, la curva marca el mayor cambio después de la emergencia de la ciencia, como disparador de la revolución industrial. Fue el evento más notable del milenio pasado después de la invención de la palabra escrita, tal como se encuentra representado en la siguiente figura.

Como lo muestra la figura anterior, la búsqueda del conocimiento en la historia es heterogénea. El pensamiento racional de autores como Pitágoras y Aristóteles parece haber sido desplazado, durante unos dos milenios, por el pensamiento místico puro, hasta la llegada del Renacimiento. La construcción de nuestro conocimiento científico no ha sido ni continuo ni uniforme, y el

reconocimiento de los límites de nuestra mente y la consecuente introducción de la verificación empírica como árbitro final para hipótesis alternativas, sólo fueron alcanzados en los últimos siglos.

Las escrituras sumerias de hace unos cinco mil años revelan un *Homo sapiens* indistinguible del hombre moderno en términos de sentimientos, motivaciones, ingenio, religiosidad, curiosidad y valores sociales. La ciencia moderna, sin embargo, no existía entonces. Ella emergió al comienzo del Renacimiento y llamaré Revolución Galileana a este acontecimiento. ¿Qué le faltó al sumerio que tienen los científicos postgalileanos?

Aunque no fue el único actor de esta revolución científica, Galileo Galilei fue su mejor comunicador y su más fuerte defensor. La revolución comenzó cuando mentes brillantes empezaron a entender al mundo más allá de nuestra Tierra y a describir el movimiento de las estrellas y planetas en relación con el movimiento aparente del sol. No hay lógica simple ni intuición humana, como lo mostró Copérnico, que nos revele los misterios de la naturaleza. Lo que nos permitió obtener una nueva comprensión del mundo que nos rodea son las observaciones y los experimentos que con extraordinaria belleza realizara Galileo. Una vez liberado, el espíritu científico produjo notables transformaciones esquematizadas en la figura.



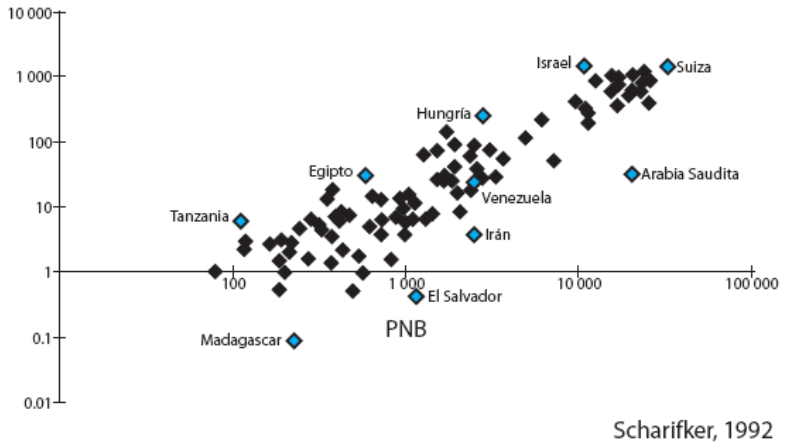
Comenzó una realimentación positiva entre la ciencia –el descubrimiento de nuevo conocimiento– y la tecnología –el diseño de nuevas herramientas. Con el nuevo conocimiento se construyeron telescopios, microscopios, máquinas y dispositivos de medida, todo lo cual permitió, a su vez, descubrir nuevos y más finos aspectos de la realidad. Nuestra cultura y la propia humanidad fueron profundamente transformadas por estas nuevas corrientes. Ciertamente, la emergencia de la ciencia moderna puede ser vista, junto con el dominio del fuego, la invención de los proyectiles y la domesticación de las plantas y animales, como una piedra miliar de la evolución humana.

Ciencia moderna, sociedad y crecimiento económico

La ciencia moderna tal como la conocemos y describimos aquí no es un concepto antiguo. Aunque Galileo Galilei ya había aceptado los límites de la percepción humana y la importancia de la observación y el experimento para establecer la verdad de una teoría, fue la formulación de la física newtoniana, más tarde desplazada por Albert Einstein, lo que demostró a la humanidad el valor de las teorías provisionales y el funcionamiento de la ciencia en la construcción de hipótesis y teorías, el diseño de

experimentos, el desarrollo de mejores predicciones de la naturaleza, en la falsación de hipótesis, destruyéndolas y construyendo otras mejores. El funcionamiento de la inducción y de la deducción para producir hipótesis, más que la búsqueda de la verdad absoluta, controladas por el experimento o la observación en secuencias irregulares, es el alma de la ciencia moderna.

La ciencia no nos resuelve todos los problemas que tenemos como animales y como humanos, ni es fácil poner en marcha un programa científico riguroso para la solución de muchos problemas complejos. Sin embargo, como ocurre con la democracia según la definición de Winston Churchill: "Es la peor forma de gobierno con excepción de todas las demás", representa hasta ahora, con su hija la tecnología, el método más eficiente para la producción de progreso tecnológico y económico. La ciencia es el único método de búsqueda del conocimiento conocido que ha demostrado ser capaz de producir beneficios sustanciales a los humanos y mejoras tangibles en las condiciones de vida de la gran mayoría de los habitantes del planeta durante los últimos siglos.



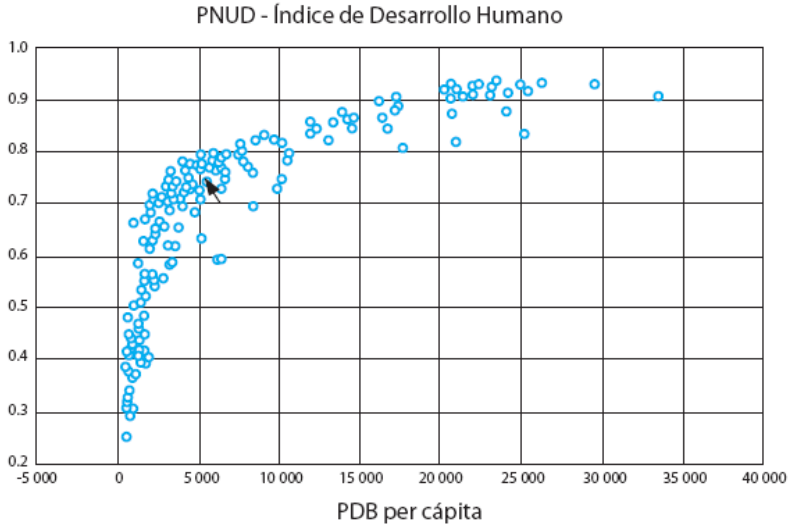
Las sociedades que cuidan a la ciencia y mantienen el ambiente apropiado para que ella prospere, logran al mismo tiempo, como afirma Richard Florida, prosperidad económica. Esta relación entre prosperidad económica y ciencia se evidencia en la figura siguiente, donde se grafica el número de publicaciones científicas por habitante según el *Science Citation Index* versus el Producto Bruto Nacional en el mismo año (1992).

La relación entre ciencia, tecnología y producción económica puede variar según los contextos históricos. En las sociedades pre-industriales más ciencia no implicaba necesariamente mayor crecimiento económico. Un meta-análisis de la relación entre ciencia y desarrollo económico (ver el trabajo "Ciencia, religión y desarrollo económico", *Interciencia*, 2005) encuentra correlaciones entre estas dos variables solamente en países con un ingreso per cápita anual superior a US$ 1 000.

Una mirada a vuelo de pájaro sobre los asuntos mundiales nos muestra que la humanidad se encuentra en medio de transformaciones profundas e irreversibles. Algunas sociedades han experimentado una revolución industrial y están prosperando técnica, económica, política y militarmente. Son los países ricos del mundo, muchos de ellos agrupados en la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico). En estos países hay indicios de que otra revolución, la Revolución de la Información, podría estar comenzando. En otros lugares la revolución industrial está apenas arrancando o no ha empezado aún, como ocurre en las sociedades que todavía viven en la edad de la agricultura o incluso en una edad dominada por actitudes sociales y psicológicas adaptadas a la caza, la pesca o a la recolección de alimentos y otros recursos más cercanos a la edad de piedra.

Un hecho interesante concerniente a la difusión heterogénea de la

revolución industrial entre las diferentes sociedades en el mundo es que produce relaciones aparentemente contrapuestas entre el crecimiento económico y el bienestar humano. Esto es, la ciencia es importante en las sociedades industriales pero no en las sociedades de subsistencia preagrícola. Al mismo tiempo, las transiciones y los cambios socioculturales desde culturas que practican la caza y la recolección a la agricultura y desde ésta a la industrialización, producen grandes desigualdades en la riqueza de los humanos. Las desigualdades materiales, sin embargo, presentan una correlación no lineal con el bienestar. Este curioso efecto puede observarse en la siguiente figura, donde se grafica el Índice de Desarrollo Humano (IDH) de cada país (evaluado por el PNUD en 2001) versus su Producto Doméstico Bruto (PDB) per cápita.



Este gráfico muestra que en los países ricos un incremento de PDB no afecta sensiblemente el bienestar de sus ciudadanos medido por el IDH, en tanto que en los países pobres, incrementos pequeños del PDB afectan de manera significativa al IDH. En los países que

transitan hacia la industrialización y se encuentran con una economía en transformación (indicadas por una flecha negra en la figura anterior) esta relación puede variar aunque será intermedia entre la descrita para los países ricos y para los pobres. Es decir, en los países ricos los incrementos en la riqueza material tienen un efecto pequeño sobre el bienestar de los individuos, en tanto que en los países pobres el aumento de la riqueza incrementa fuertemente el bienestar humano.

La relación entre ciencia y creación de riqueza sólo queda claramente evidenciada, entonces, en el grupo de los países ricos. Esta relación puede ser vista incluso si no se separan los diferentes países en categorías distintas. Si, por ejemplo, expandimos nuestro análisis inicial y comparamos el número total de publicaciones producido por cada país, como medida de productividad científica, con la riqueza alcanzada por ese mismo país, encontramos que el coeficiente de correlación (0.88) es el más grande que podemos encontrar entre todas las posibles características que se correlacionan con la riqueza de una nación. En la tabla siguiente presentamos un grupo selecto de variables sobre las cuales cada año informan las estadísticas de las Naciones Unidas, y sus correlaciones con la riqueza de una nación expresada por el PDB per cápita (en dólares americanos o corregidos para el poder adquisitivo de 2003).

Variable del país	Coeficiente de correlación de la comparación con PDB/cápita
Paginas Web identificadas con Google	0.39
Gasto total en educación como % del PDB	0.49
Publicaciones en artes y humanidades (Thomson)	0.61
Publicaciones en ciencias sociales (Thomson)	0.64
Películas producidas	0.72
Número de años de educación del 90% de la población	0.78
Publicaciones en ciencias (Thomson)	0.88

Está claro que la ciencia es la variable cultural más relacionada con el desarrollo económico.

Existen numerosas evidencias sobre el importante papel de la ciencia y la tecnología y de los servicios y tecnologías de la información para lograr el desarrollo económico. Los mecanismos precisos que emplea el desarrollo científico para afectar al crecimiento económico pueden no ser conocidos, pero es indudable que la ciencia y la tecnología forman parte de toda economía moderna. Cuando se ha intentado limitar el papel de la ciencia, las consecuencias han sido muy costosas en términos sociales y

económicos, como en la Revolución Cultural en la China de Mao, la Camboya del Khmer Rouge o el Afganistán de los talibanes, que, para evitar las consecuencias de la revolución industrial, regresaron a una edad preindustrial.

Los elementos que hemos presentado aquí sugieren que la comprensión de la ciencia y su difusión entre muchos sectores de la sociedad, no sólo es un esfuerzo de interés académico, sino que es muy importante a la hora de implementar políticas económicas racionales que favorezcan el desarrollo de las mayorías en países que sufren hambrunas o que tienen altos índices de morbilidad. Comprender el fenómeno de la ciencia es fundamental para desarrollar nuevas disciplinas que nos permitan comprender a la humanidad y su futuro.

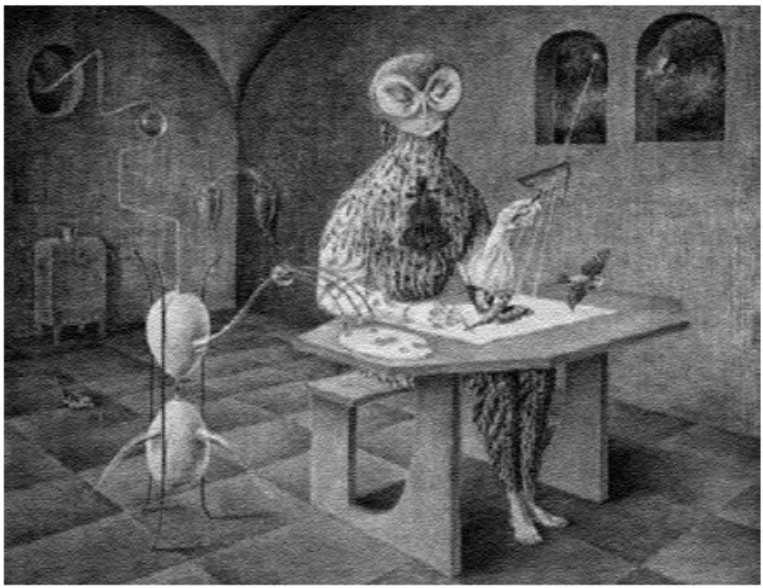
La cita siguiente es de Fred Robinson, Chancellor of the Exchequers en Londres desde 1823 a 1825, dirigiéndose a la Cámara de los Comunes:

> "Hay un principio en la constitución del hombre social que conduce a las naciones a abrir sus brazos a las demás y a establecer conexiones nuevas y más cercanas administrando la conveniencia mutua –un principio que crea nuevas necesidades, estimula nuevos deseos, busca nuevos placeres y, por la gracia de la Providencia, contribuye a la felicidad general de la humanidad… y cuando reflexionamos sobre los beneficios obtenidos por los descubrimientos recientes de la ciencia moderna y por la mágica energía de la máquina de vapor, ¿quién puede dudar que esta expansión es progresiva y su efecto permanente?" .

Es decir, tal como lo expresa Paul Johnson en *The Birth of the Modern* (*El nacimiento de lo moderno*, 1991), la ciencia y la tecnología modernas convierten los lujos de una generación en las

necesidades de la siguiente. La ciencia ha sido el motor de la innovación durante los últimos siglos y continuará siéndolo.

Ciencia y arte



La Creación de las Aves: Remedios Varo

La creatividad artística es una particularidad del *Homo sapiens* fundamental para su sociedad. Las sociedades con frecuencia se clasifican y se reconocen por el arte que fomentan y producen. Para los etólogos evolucionistas, las capacidades artísticas podrían haberse desarrollado por selección sexual, esto es, la dinámica evolutiva que actúa a través del éxito reproductivo de los individuos. Es decir, cualquier característica que aumente la probabilidad de un individuo para conseguir pareja y reproducirse está sujeta a esa fuerza de la naturaleza. Si las habilidades artísticas

ayudan a enamorar a la pareja, pues serán seleccionadas con gran vigor evolutivo. La selección sexual, en mamíferos, por lo general opera sobre machos, escogiendo a aquellos que tuvieron éxito en encontrar pareja. Por tanto, los machos con rasgos más atractivos (buenos cantores por ejemplo) serán los que más se reproduzcan. Son las hembras las que eligen aquellos machos con las mejores habilidades. De esta forma se seleccionan los genes que le garantizarán a ellas y a su descendencia una mejor supervivencia. Debido a la fuerte competencia entre los machos, una impresión favorable sobre la hembra podía lograrse mediante acciones y exhibiciones cada vez más sofisticadas, poniendo así a prueba los límites de la creatividad del macho, y generando una fuerza evolutiva impulsora para producir individuos aún más ingeniosos. Esta hipótesis está respaldada por el hecho de que en muchas especies del reino animal los machos cantan y exhiben comportamientos complejos para atraer a las hembras para sus actos amorosos, mientras que es rara la producción de sonidos por parte de las hembras.

La creatividad ha tomado muchas formas y nuevas funciones entre los humanos modernos. Dos de estas son el arte y la ciencia. Como hermanas que son, tienen muchas similitudes y diferencias. Ambas son el producto de la necesidad humana de crear e innovar, aunque cada una tiene su método particular. Las artes exploran el mundo utilizando la intuición, razón, sentimientos y trabajan por ensayo y error, mientras que la ciencia busca explorar al mundo incrementando la eficacia de los algoritmos de búsqueda, creando hipótesis y diseñando experimentos para comprobarlas. Sin embargo, no es sorprendente para nadie que podamos identificar elementos de hipótesis y experimento en las artes y un uso extensivo del ensayo y error en la ciencia. Parece más bien una diferencia de importancia relativa entre ambos procesos. Hay momentos, sin

embargo, en que los grados son importantes.

Una diferencia fundamental entre ambas hermanas (ciencia y artes) es que la primera reconoce nuestras limitaciones en cuanto a percepción, lógica y pensamiento racional, con lo cual busca explorar el universo que nos rodea con métodos extrasensoriales racionales como son los experimentos. Las artes, por el contrario, exploran los límites de nuestras sensaciones y profundizan en sus propiedades conservando los sentidos humanos y la percepción como el foco principal de su trabajo. Es decir, ambas tratan de equilibrar el uso de la razón y la intuición como herramientas intelectuales de trabajo; mas, cuando aparecen contradicciones entre la razón y la intuición, el artista elige la última mientras que el científico elige la primera. Esta diferencia resulta ser de la mayor importancia.

Tanto el arte como la ciencia son características específicamente humanas. Todavía no se han descubierto indicios de desarrollos de comportamiento entre los animales que pudieran conducir a la ciencia o al arte. No es descartable, en cambio, que tal cosa pueda ocurrir con robots y computadores. La creación artística y la científica incluyen una gran dosis de suerte, lo cual sugiere la existencia de procesos estocásticos que las respaldan. El dominio de estos procesos por programas de inteligencia artificial y otros pronostica que tanto el arte como la ciencia podrán ser actividades cada vez más automatizadas en el futuro.

Ciencia y ética

> *Encuentro difícil aceptar que nuestras creencias más profundas hayan sido fijadas en piedra por sociedades agrícolas del Mediterráneo oriental hace más de dos mil años.*

Edward O. Wilson (*Consiliencia*)

La ciencia está basada en experimentos, sin embargo llega a sus conclusiones a través de conversaciones entre científicos, discutiendo el significado de los resultados experimentales.
Werner Heisenberg (*La parte y el todo*, 1969)

La ética, o epistemología de lo bueno y lo malo, se encuentra en la base de toda sociedad estructurada. Desde tiempos antiguos, tal como puede comprobarse en las escrituras sumerias, ciertos valores parecen ser permanentes en la historia humana, pese a su desigual comportamiento a lo largo de la misma. Otro valores han sufrido cambios sustanciales aun en el transcurso de una generación, como ocurre con nuestra valoración del aborto, la homosexualidad o la producción de clones humanos.

La ética es una actividad no científica. Sin embargo, podríamos imaginarla como una ciencia joven, todavía por desarrollar, que trata de los algoritmos para la acción humana que favorecen tanto al individuo como a la sociedad. Algunas veces aparecen contradicciones entre ambos propósitos, lo cual plantea cuestiones morales fundamentales. Debemos comenzar, como en toda disciplina incipiente, por construir una taxonomía de la verdad ética. Por ejemplo, los valores positivos que pueden ser detectados en las escrituras sumerias y que siguen siendo válidos hoy día incluyen: caballerosidad, verdad, ley, orden, justicia, libertad, rectitud, sinceridad, piedad y compasión. Los valores negativos, en cambio, incluyen: maldad, mentira, anarquía, desorden, injusticia, opresión, perversidad, crueldad e insensibilidad. Como vemos, podemos clasificar una gama compleja de valores y conductas en dos grandes categorías.

Todas las clasificaciones son arbitrarias en cierto grado. Las más simples que sirven para la toma de decisiones eficientes tanto a nivel individual como social, agrupan a los objetos y fenómenos en dos categorías: bueno y malo. Las clasificaciones que utilizan tres categorías son un poco más sofisticadas pero continúan siendo suficientemente simples como para servir de base a dogmas, teorías universales y religiones. Si se reconocen como tales, las clasificaciones simples son útiles para empezar a comprender fenómenos complejos.

Otra manera de incluir valores cuantitativos en la ética es definiendo grados de valores. Si aceptamos que el conocimiento humano (o la verdad) puede ser sólo una aproximación de la realidad, tendremos que reconocer que existen diferentes grados de conocimiento (o verdad). Utilizando modelos mentales de la termodinámica proponemos la analogía siguiente. Sabemos que reduciendo la incertidumbre en el espacio y el tiempo, reducimos también la cantidad total de entropía, aumentando el orden o la negentropía del sistema. Si consideramos a la verdad como una propiedad negentrópica, entonces ampliando el ámbito en tiempo y espacio en el cual estudiamos un determinado tema incrementaremos el grado de verdad. Otra manera de incrementar el grado de verdad de una proposición dada o conocimiento es generalizando su alcance. Las leyes naturales, tales como la ley universal de la gravitación, aparentemente no tienen límites en espacio y tiempo para su ámbito de aplicación y sin embargo, su implementación para predicciones concretas no es trivial. Parecería entonces que contienen mayor cantidad de verdad que otras leyes que aplican a situaciones muy particulares, como la ley de capilaridad u otras.

La ética no es normalmente considerada una ciencia experimental. Desde el punto de vista de la evolución biosocial, sin embargo, una

ciencia de la ética luce como extensión natural del estudio de la dinámica social. Esto es, los efectos sobre el individuo y la sociedad de la dinámica de los algoritmos de las conductas individuales que se relacionan con lo social pueden y deben ser estudiados experimentalmente. Es muy probable que el estudio de la ética en el futuro sea consiliente con la ciencia natural. Para ello, sin embargo, requerimos de un desarrollo de las ciencias humanas, del comportamiento y sociales, mucho más sofisticado y falsable que el actual.

La ciencia no es objetiva en el sentido de que elimina toda interferencia de las emociones humanas. Por el contrario, es dependiente de las emociones de los científicos. Son las emociones, tales como las ansias de poder, el disfrute del descubrimiento del conocimiento nuevo, la necesidad de alimentar y acrecentar al ego, o la necesidad de afecto y respeto de los pares, lo que hace a la ciencia posible. La ciencia es objetiva sólo en la medida en que acepta las limitaciones de nuestra mente, apelando a experimentos y comprobaciones independientes para decidir entre teorías alternativas. La ciencia busca incluir elementos "extra-personales" más que "a-personales".

Las ciencias sociales y los excesos del positivismo

> *Nunca tomé en serio los problemas relativos a las Palabras y a su significado. Lo que debe ser tomado en cuenta seriamente son los hechos y nuestras descripciones de ellos: teorías e hipótesis; los problemas que resuelven; y las cuestiones que plantean".*
> Karl R. Popper

La aplicación de conocimientos y conceptos provenientes de las ciencias naturales a las sociales no es algo nuevo. Los chinos

Shang o Gonsun Yang (400-338 a.C.), Han Feizi (233 a.C.) y Mozi (429 a.C.) y los europeos Hugo Grotius (1583-1645), Tomas Hobbes (1588-1679), François Quesnay (1694-1774), David Hume (1711-1776), Jean Le Round D'Alembert (1717-1783), Anne Robert Jacques Turgot (1727-1781), Joseph Louis Lagrange (1736-1813), Nicolas de Caritat o el Marqués de Condorcet (1743-1794), Adolphe Quetelet (1796-1874), Auguste Comte (1798-1857), son algunos de los muchos grandes hombres que hicieron este intento. El éxito extraordinario de las ciencias naturales en los siglos XVIII y XIX indujo a los intelectuales, concentrados principalmente en Francia por aquella época, a tratar de aplicar a las ciencias sociales las técnicas que se pensó habían logrado resultados positivos en las naturales. Esta fase histórica del desarrollo intelectual es conocida como positivismo (ver la excelente discusión en Friedrich A. Hayek, 1889-1992, *The Counter-Revolution of Science Studies on the Abuse of Reason*).

Dado que estas simples extrapolaciones de las técnicas analíticas de las ciencias naturales a las sociales fracasaron en gran parte, los intelectuales postpositivistas las descartaron por inútiles, sosteniendo que el estudio de los humanos debe seguir reglas diferentes al estudio del resto de la naturaleza. Hoy sabemos, sin embargo, que las sociedades son sistemas complejos y que esas extrapolaciones de métodos analíticos de sistemas simples a complejos suelen fracasar. Por lo tanto, el error de los positivistas no fue intentar incluir a las ciencias sociales como otra disciplina de la ciencia natural, aplicando las mismas herramientas analíticas para estudiar ambas, sino el no reconocer que los sistemas complejos en general, sean humanos, animales o físicos, requieren herramientas más sofisticadas para sus análisis, que permitan manejar las particularidades de la dinámica no-lineal, de los procesos irreversibles y de los fenómenos emergentes.

Aunque muchos de los intelectuales que trataron de tender un puente entre la ciencia humana y la natural estaban conscientes de las limitaciones de sus esfuerzos y no pretendieron generalizaciones irresponsables de sus teorías, posteriormente ciertos intelectuales, algunos de los cuales sin suficientes conocimientos sobre el tema, como Saint Simon y otros, hicieron aseveraciones exageradas y sin fundamento que generaron serios problemas y más tarde un rechazo a cualquier intento de cerrar la brecha entre ambas disciplinas. Algunos de los problemas pueden resumirse como sigue:

1- Falta de humildad para reconocer las limitaciones de la ciencia.

2- Falta de sujetos objetivos de estudio y mezcla de las evaluaciones subjetivas con las mediciones objetivas. Los sujetos y lo subjetivo afectarán a los objetos. Por ejemplo, expectativas, tradiciones y valores afectarán a los precios, los cuales afectarán a las medidas objetivas de una economía. Por lo tanto no es posible separar el sujeto del objeto de estudio.

3- Al clasificar y referenciar objetos suponemos que las demás personas poseen una mente similar a la nuestra y que clasifican a su entorno de manera parecida. Esta suposición, sin embargo, no es compatible con los fenómenos sociales complejos. La gente puede interpretar el mismo acto o situación con valores diferentes, como sería, por ejemplo, clasificar a Ernesto "Che" Guevara o a Carlos "El Chacal" como héroes o como malvados terroristas.

4- Los enfoques reduccionistas para el estudio de los fenómenos sociales, sin la adecuada atención a las diferentes ventanas temporales y perspectivas espaciales utilizadas, lleva a amargas disputas entre biólogos, sociólogos, economistas y físicos. Todos están explorando el mismo elefante en la oscuridad pero

están tocando diferentes aspectos del mismo animal.

5- Como lo señalara Adam Smith, los humanos promueven metas que originariamente no pensaron en favorecer. Este es el funcionamiento de las consecuencias impredecibles en los sistemas complejos. La mezcla entre lo que se desea y el objeto real, oscurece cualquier intento de estudio científico.

Estas limitaciones y defectos del positivismo no son, con todo, finales, pues podrían ser superados en algún momento con el advenimiento de ciencias sociales más sofisticadas. Sin embargo, persiste una pregunta recurrente: *¿Son las ciencias sociales una ciencia?*

Muchos esfuerzos humanos se han orientado a demostrar que el estudio de las sociedades y de la naturaleza tienen que ser fundamentalmente diferentes por el hecho de que sus objetos de estudio también lo son. Se habla por tanto de ciencias duras y blandas, como si los seres humanos fueran más blandos que las medusas. Se dice que las ciencias sociales tratan con la subjetividad humana y por lo tanto no pueden utilizar los métodos de las naturales con el mismo rigor que éstas. Sin embargo, muchos de los trabajos que se critican, incluyendo el de Friedrich Hayek, utilizaron definiciones y conceptualizaciones de la ciencia que están más basadas en su forma de funcionamiento, esto es, razonamiento matemático y otros razonamientos abstractos, que en sus principios, o sea reconocimiento de las limitaciones de la mente y la necesidad de falsación o de respaldo empírico independiente de las teorías.

El desarrollo de las disciplinas que estudian los sistemas complejos, el enorme incremento de la capacidad de cálculo de los computadores, el creciente volumen de datos disponibles sobre una gran cantidad de actividades humanas, nos induce a pensar que puede

estar surgiendo la posibilidad de un estudio de los problemas humanos y sociales con base más empírica y falsable. Es razonable pensar, puesto que los propósitos de la ciencia de lo social incluyen muchos fenómenos complejos, que tomará mayor tiempo en desarrollarse y madurar que otras, como la física, dedicadas al estudio de la interacción de partículas simples. Deberíamos ver en las ciencias sociales disciplinas incipientes o jóvenes con un futuro muy interesante. Todavía sufren de influencias históricas no científicas, pero tienen el potencial de desarrollarse para convertirse en una euciencia o ciencia experimental en el sentido galileano. El reconocimiento de las cualidades fundamentales de la ciencia en general ayudará a guiar los desarrollos de estas importantes disciplinas académicas.

LOS PELIGROS FUTUROS

El desarrollo ulterior de la ciencia y su impacto positivo en la sociedad humana no está ni graciosa ni automáticamente garantizado. Muchas cosas pueden ir mal. Una exploración de los posibles peligros y trampas no será dañina para una sana perspectiva futura de la ciencia y la humanidad.

Entalpía negativa

Una estrategia biológica para mejorar las posibilidades de trascendencia consiste en llenar los espacios disponibles o nichos en el ecosistema, con lo cual se aumentan las probabilidades de una permanencia temporal más larga en este planeta. Los sistemas que logran esto reducen su orden disminuyendo los competidores disponibles. En términos termodinámicos, ellos aumentan la entropía, disminuyen los espacios disponibles para los competidores, incrementan su propia flexibilidad y se vuelven más conservadores en cuanto a desarrollo de nuevas estrategias. Es

decir, la fuerza agregada utilizada (trabajo) o grado de llenado de los nichos y el refinamiento de su ocupación constituyen un índice de la edad o grado de madurez evolutiva de un sistema dado. Esta fuerza expansiva y acumulativa o cantidad de trabajo, es homóloga a lo que se conoce en termodinámica como entalpía. Lo contrario de esta fuerza sería la entalpía negativa o negentalpía, restrictiva del impulso expansivo.

Aplicado esto a una posible esclavización de la sociedad por la ciencia, significaría que la ciencia tratará de llenar todos los nichos disponibles en el pensamiento y la cultura humanos, desplazando a las artes, las humanidades y otras expresiones del espíritu humano. Tal cosa podría no ser buena y sería recomendable aplicar alguna forma de negentalpía. La biología humana necesita, para un funcionamiento armónico del organismo, dejar libres muchos impulsos e instintos no racionales, guiados por el arte, la religión, los deportes y otros medios. La ciencia no debería interferir con estos impulsos ni invadir sus territorios, a menos que desee despertar la ira de los humanistas y de la gente corriente y poner en riesgo su existencia.

La sobreracionalización es inadecuada en muchas circunstancias. La ley de las consecuencias inesperadas se aplica también a la ciencia. Como dice Friedrich Hayek, la civilización se ha desarrollado y está basada en muchas instituciones que no fueron construidas sobre principios racionales. Los racionalistas que no reconocen sus limitaciones racionales y metodológicas y que, además, ignoran las necesidades culturales innatas de los humanos pueden ser dañinos. Cuanto más poder logran, más daño pueden infligir.

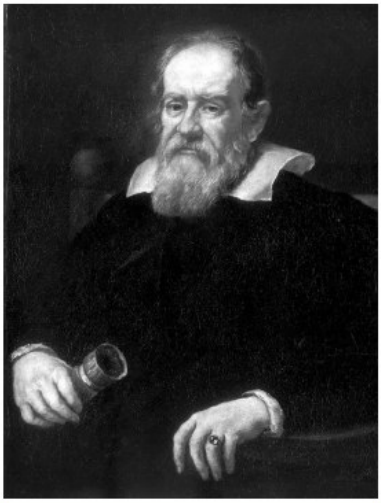
Dogma, mitos y religiones

Cuando descubrimos un nuevo objeto, fenómeno o relación, nuestro cerebro secreta neuromoduladores especiales que aceleran el aprendizaje de lo que haya que aprender o experimentar en ese momento. Este refuerzo positivo es impulsado exclusivamente por nuestras emociones y no es susceptible de manipulaciones racionales, siendo origen de más de un mito, ya que permite establecer relaciones causales que no corresponden con la realidad. Esto ocurre especialmente cuando se trata de conocimientos complejos, de cuyos alcances no estamos conscientes y, al no conocer las limitaciones de nuestra mente, terminaremos construyendo abstracciones y modelos falsos de la realidad que nos rodea. Si ignoramos esta posibilidad y nos aferramos a nuestras emociones de manera irracional, acumularemos modelos falsos que pronto establecerán la base de dogmas.

Estos dogmas difieren de los paradigmas científicos en que no pueden ser falsados. Ello no impide que puedan mantener su

influencia en la sociedad humana por largos períodos de tiempo. Cuando el dogma y el mito se extienden a gran parte de la sociedad y se construyen instituciones basadas en ellos, emergen las religiones.

Giordano Bruno (1548-1600)

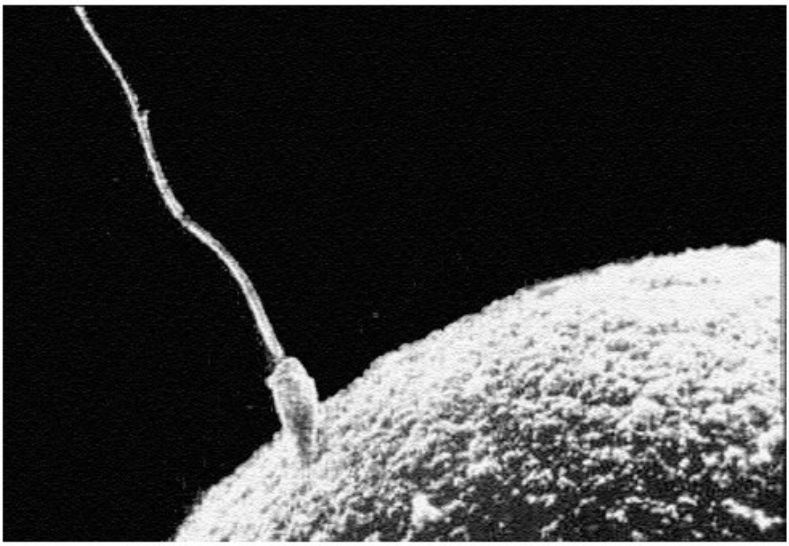


Galileo Galilei (1564-1642)

Es indiscutible que la religión juega un papel importante en casi todos los ámbitos de la actividad humana y que su aporte al desarrollo de nuestras culturas no puede ser ignorado. Una consecuencia importante del dogma y la religión en las sociedades humanas y mentes individuales, es que frena la creatividad científica y los pensamientos innovadores individuales. La religión no ha estado muy a menudo asociada con expansiones tecnológico-científicas y de conocimiento en la historia humana de los últimos cinco siglos. Las religiones no apreciaron los nuevos conocimientos sobre el mundo, que merecieron en muchos casos la oposición activa de la religión, como lo ejemplifica la quema de Giordano Bruno (1548-1600) por la Iglesia católica.

Incluso los hallazgos fundamentales de Nicolás Copérnico (1473-

1543) y de Johannes Kepler (1571-1630), brillantemente expuestos por Galileo Galilei (1564-1642) fueron censurados por la Iglesia hasta finales del siglo XX, obstaculizando su difusión. Éste ha sido el caso más conspicuo del intento de detener el avance de la ciencia por la religión. Pero conocemos muchos otros ejemplos.



Espermatozoide humano penetrando un óvulo

En muchos sitios e instancias pueden encontrarse hoy día censuras impuestas por el dogma religioso a la ciencia innovadora. La investigación en biología reproductiva sufre múltiples acciones legales, morales e inclusive acciones físicas violentas que tratan de impedir la clonación humana. El estudio de la biología evolutiva sufre la reticencia de grupos religiosos fanáticos para aceptar la evolución biológica como una realidad. Las investigaciones sobre dinámica social y sobre la difusión de enfermedades transmitidas sexualmente son obstaculizadas por varias religiones que no aceptan que se hable del comportamiento homosexual, entre otros. Las áreas de conflicto entre el dogma y la religión con la ciencia

pareciera que se están incrementando en la actualidad.

El dogma y la religión pudieron haber tenido una fuerte influencia adaptativa en las sociedades humanas primitivas, dado que ayudaron a formar fuertes lazos sociales y a proporcionar una fuerza social fabulosa para la defensa de la sociedad al crear una fuerte cohesión social. Muchas sociedades, y no sólo las primitivas de cazadores y recolectores, sobreviven hoy día gracias a estas fuerzas extraordinarias.

El mito, el dogma y la religión no son las únicas fuerzas que se oponen a la ciencia. Otras características de la sociedad humana moderna siguen caminos que, según parece, podrían colidir con ella.

Otros enemigos del progreso científico

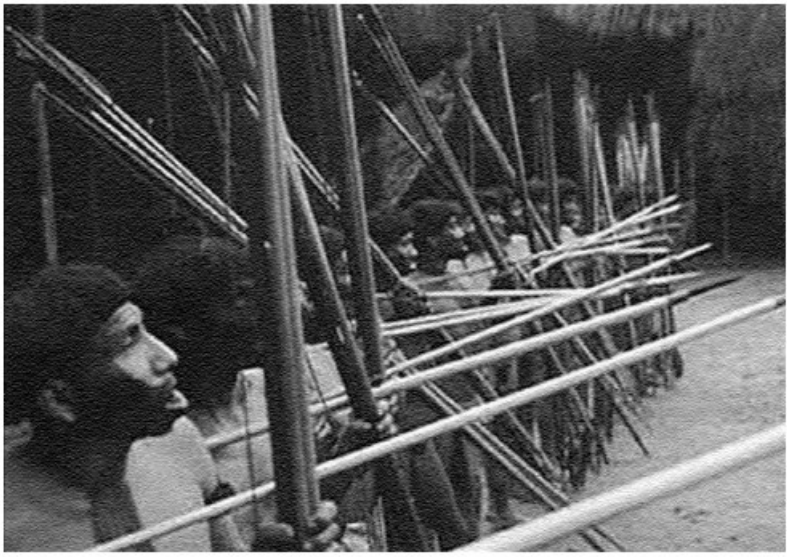
Una serie de enfoques racionales académicos de la realidad son confundidos a menudo con el método científico. Estas formas de pensamiento racional no son científicas, pero tienen algunas propiedades que las hacen aparecer como propuestas académicas sofisticadas, siendo así aceptadas como serias. Algunas de estas formas de pensamiento racional han sido enemigas clásicas de la ciencia desde el Renacimiento y todavía son utilizadas en algunos círculos académicos contemporáneos. Las más importantes, al lado del dogma y la religión, son la prevalencia de la autoridad sobre los hechos, la presión de las ideas que fuerzan a los datos a ajustarse a ellas, y una tendencia a la antropomorfosis, que atribuye forma humana a todos los objetos del mundo. La base subyacente de estos dogmas es que la realidad ha sido ya revelada por las Sagradas Escrituras, palabras celestiales, o por la autoridad aceptada, y que nuestra racionalidad sólo sirve para explicar la vida real utilizando las escrituras, conocimiento o dogmas aceptados.

Los académicos frecuentemente basan sus digresiones y análisis en las opiniones de otros académicos. El diálogo, la discusión y la crítica de otras opiniones han hecho avanzar el conocimiento. Es la teoría del Dr. X en contra de la del Dr. Y lo que enriquece las discusiones académicas. A menudo la autoridad más antigua, o la más convincente o el argumento más enfático vencerá en la discusión. Es decir, con frecuencia se piensa que las ideas son más importantes que la realidad. Hay una fuerte tendencia entre los humanos a creer que una hermosa idea no puede ser errónea y que, por lo tanto, los datos y eventos del mundo real deben ser adaptados, forzados o moldeados para ajustarse a esa idea. Las consecuencias de esta actitud es que algunas discusiones filosóficas de hace siglos no difieren mucho de las de hoy día.

El antropomorfismo o la proyección del funcionamiento y estructura de la mente humana a la realidad circundante es una forma atractiva de racionalizar nuestras experiencias. Resulta natural, pues es como una extrapolación de nosotros mismos a la realidad. Rara vez, sin embargo, la realidad es compatible con la estructura de nuestra mente y el antropomorfismo ha conducido a muchas teorías falsas en el pasado.

El autoritarismo y el conservadurismo detienen a la ciencia. Por ejemplo, la tradición confuciana de respetar las costumbres y la jerarquía ha proyectado una larga sombra sobre la actividad científica en China, Corea y Japón hasta muy recientemente. El dominio autoritario y la conformidad política en las décadas pasadas han obstaculizado la creación de un entorno que promueva la creatividad individual. La deferencia hacia la autoridad y a los paradigmas existentes representa una barrera importante para el avance científico oriental. Aunque la educación científica en China y en Japón es extensa y rigurosa, la productividad científica de estos países medida por el número de publicaciones científicas, es

menor que lo esperado tomando en cuenta la cantidad de recursos humanos y financieros volcados en ciencia. Esto sugiere que hace falta algo más que dinero y educación para cultivar científicos; se debería inspirar a los estudiantes para que busquen el conocimiento por su propia iniciativa e independientemente de cualquier autoridad, y que adquieran el hábito de plantear preguntas y desarrollar un sano escepticismo.



Indígenas de la etnia Yanomami preparándose para la guerra

La tecnología es el principal propulsor de la ciencia moderna. Nos permite mejorar nuestros sentidos y el funcionamiento de nuestros órganos, expandir nuestra mente y realizar experimentos cada vez más sofisticados. Pero la tecnología también crea filtros entre nosotros y la realidad. Ella colorea lo que vemos y moldea las experiencias empíricas que obtenemos. Es así que la tecnología o, más bien, el exceso de ella, podría dificultar apreciaciones más profundas de la realidad y, en consecuencia, obstaculizar a la

ciencia. Estar conscientes de los límites de la tecnología que estamos utilizando es lo que, otra vez, nos ayudará a superar esta limitación.

Otros enemigos para el futuro del progreso científico podrían incluir los valores sociales perniciosos que arraigan con facilidad en la cultura moderna y que tienen como consecuencia:

1- Falta de motivación hacia los estudios científicos, lo que ocurre cada vez más en las sociedades industriales avanzadas.

2- Escasa imaginación entre quienes hacen investigación científica en la medida en que las disciplinas científicas se vuelven más especializadas y competitivas y son administradas siguiendo motivaciones económicas.

3- Nula educación científica en grandes estratos de la sociedad, al tiempo que la Internet y la televisión llevan a los jóvenes estudiantes a tener períodos de atención cada vez más pequeños y a buscar informaciones cada vez más simples.

4- Una búsqueda para resolver problemas que imaginamos pero que no existen en realidad, o analizar hechos imaginados, o enfocar nuestro interés en cuestiones no-científicas, impulsada por políticos, periodistas y otras personas con poder, pero con un conocimiento muy rudimentario de la ciencia. El ejemplo de la cebolla podría ilustrar este punto. Un objeto con tantas capas protectoras debe esconder algo importante en su interior. Sin embargo si se molesta en buscarlo sólo conseguirá sus propias lágrimas.

5- Preferencia por la charlatanería, política de barbería, y búsqueda de soluciones simples para problemas complejos, en la medida en que se dirigen a comportamientos innatos, instintos, motivaciones y sentimientos que inconscientemente impulsan

a muchos humanos.

Meritocracia *vs* democracia

Los límites de la democracia

En el intento por escapar del autoritarismo y de la autocracia, se inventó una variedad de alternativas. Algunas fracasaron, otras tuvieron mucho éxito como la democracia. La democracia se está convirtiendo en la estructura organizacional dominante de la sociedad en el siglo XXI siendo considerada hoy día por todas las organizaciones internacionales y por las declaraciones de principio como el más avanzado sistema de gobierno.

Sin embargo la democracia, cuando se aplica a organizaciones científicas, universidades, institutos de investigación, laboratorios de investigación, o a actividades científicas en general, puede convertirse en una fuerte limitación para el progreso científico. Nin-

guna ley de la naturaleza ha sido descubierta o descrita mediante el voto popular. La democracia aplicada al quehacer científico no ha sido de gran ayuda para el avance de la ciencia. La meritocracia y la fuerza de la evidencia empírica constituyen los elementos básicos de las organizaciones científicas que funcionan bien. Si extrapolamos la crítica a la democracia hecha por Irving L. Janis en *Groupthink* al medio científico, podríamos señalar los peligros que entraña la aplicación amplia de los métodos y actitudes democráticas a la actividad científica:

1- Ilusión de invulnerabilidad.

2- Ilusión de unanimidad.

3- Supresión de las dudas personales.

4- Autocensura mental.

5- Docilidad mental fomentada por líderes carismáticos.

6- Rechazo a antagonismos valiosos si son muy minoritarios.

Estas limitaciones y muchas otras hacen que la democracia no sea la herramienta más apropiada para decidir la verdad de las leyes de la gravedad, o la conveniencia de aceptar o descartar la teoría de la evolución. ¿Cuáles son las alternativas?

Reflexiones sobre la meritocracia

No debe confundirse meritocracia, el gobierno de individuos que han demostrado cualidades destacadas para la solución de problemas y la realización de actividades relevantes para la sociedad, con aristocracia, autocracia o con la falta de democracia. La meritocracia valora el éxito y favorece a quienes son más capaces de alcanzarlo. El mérito depende básicamente del esfuerzo invertido por el individuo, su grado de motivación y sus deseos de

aprender, lo que a su vez depende parcialmente, aunque sin limitarlo, de la genética y la historia cultural del individuo. La cantidad de esfuerzo requerido para alcanzar un nivel determinado de "mérito" varía entre individuos y esto hace que la meritocracia sea una forma de organización tan poderosa. La meritocracia implica:

1- Valorar los méritos, favoreciendo al más capaz.

2- Valorar el esfuerzo más que la oportunidad.

3- Valorar más lo bueno en otros que lo mediocre en nosotros.

4- Reconocer que somos parte del progreso y que no estaremos siempre en la cresta de la ola.

5- Valorar la productividad más que los títulos, honores, rangos y posiciones.

6- Reconocer nuestra propia debilidad y al mismo tiempo la fuerza en los demás como un paso inevitable del proceso de nuestro propio crecimiento.

Favorecer al promedio y al común por encima de lo valioso, lo excepcional, lo brillante, es favorecer al mediocre. A eso se llama mediocracia. El mediocre minimiza el esfuerzo, mientras que el meritócrata maximiza la calidad de sus acciones.

Parece que existe una relación directa entre ciencia, desarrollo y meritocracia (o entre subdesarrollo y la falta de ésta), en todos los niveles, sean familiares, sociales, culturales y profesionales. El subdesarrollo y atraso socioeconómico a menudo son consecuen-cia de una falta de meritocracia, siendo esto, a su vez, la consecuencia de una excesiva prevalencia de las ambiciones personales por encima del bien común.

Las sociedades cuyos individuos culpan a fuerzas externas por la

falta de progreso socioeconómico en lugar de buscarlo dentro de ellas mismas, carecen de sistemas meritocráticos. El atraso parece estar correlacionado con la falta de meritocracia y con una pobre valoración de la ciencia. Un vistazo a la parte opuesta del espectro muestra que los niveles altos de desarrollo socioeconómico con una alta prevalencia de la ciencia, se correlacionan con una utilización más amplia de los sistemas meritocráticos. Pueden encontrarse ejemplos de esto comparando universidades de los Estados Unidos donde se hace investigación muy competitiva (algunas con estas características están emergiendo en Asia), con las del Tercer Mundo y de muchas partes de la Europa moderna, amamantadas y oficialmente protegidas por el estado. Sólo las instituciones meritocráticas llegan al tope de la evaluación mundial.

Estas relaciones producen las paradojas siguientes:

1- Cuanto más sabio es alguien, más humilde y más tolerante es su comportamiento.

2- A más conocimiento, mayor conciencia de la propia ignorancia.

3- A menos estudios, más soberbia.

4- A mayor ignorancia, mayor fanatismo.

5- A mayor fanatismo, más probabilidades de llegar a una posición de mando.

6- Cuanta más democracia sin meritocracia, más individuos arrogantes e ignorantes dominarán la sociedad mediocrizándola.

7- Cuanto más vacío se encuentra el carruaje, más ruido hace circulando por una calle accidentada.

Las leyes físicas, la dinámica evolutiva y las reglas sociodinámicas parecen señalar que si se favorece al promedio nunca se fomentará

el progreso. Seleccionando sólo el carácter promedio nunca se logrará un corrimiento de la frecuencia de ese carácter en la población. Tal como lo reconoce la biología evolutiva de poblaciones, la mediocracia o selección del promedio, detiene la evolución. El progreso implica un corrimiento del promedio y una preferencia por lo que está por encima de éste. Así, la democracia logrará progreso social en una sociedad sólo si permite o fomenta componentes meritocráticos, o sea si fomenta las características en su sistema que podrían ayudar a la sociedad a superar sus debilidades.

Esto es verdadero para las instituciones científicas en las cuales la democracia ha sido desplazada por la meritocracia. La revisión por los pares en revistas científicas de alto impacto y en las agencias que distribuyen subsidios para la ciencia; el nombramiento para cargos de alto nivel basado en el mérito; las carreras científicas de los investigadores individuales impulsadas estrictamente por la productividad científica, etc., son incursiones meritocráticas en las sociedades científicas modernas. Por otra parte, una gran cantidad de instituciones científicas se halla en fuerte desventaja en cuanto a su productividad científica, ya sea por un autoritarismo excesivo o por una democracia descontrolada. La implementación de una meritocracia que funcione de manera apropiada requiere de tiempo y tradición.

En la búsqueda del equilibrio óptimo entre democracia y meritocracia, será la comprobación científica la que nos ayudará a identificar cuál método será más eficiente para organizar a los humanos en la búsqueda de la ciencia. La cuantificación de la productividad científica e inventiva, o su falta, ayudarán a clasificar las diferentes estructuras organizacionales utilizadas por las instituciones científicas en la actualidad y las que se usarán en el futuro.

Progreso social: ¿Ficción o realidad?

¿Continuarán en el futuro las tendencias que hemos experimentado en los últimos siglos? ¿Continuará el progreso científico y social al mismo paso acelerado? La extrapolación a la sociedad humana de algunos modelos mentales de termodinámica, la rama de la física que estudia procesos complejos, puede enseñarnos que:

1- En sistemas no-lineales abiertos, el equilibrio dinámico no es posible. Ninguna solución estática es estable. Sólo pueden ser alcanzados estados estacionarios en sistemas disipativos, lejos del equilibrio. Es decir, no existe ninguna solución estable simple para la dinámica de los procesos sociales complejos. Más bien podría esperarse que el cambio continuo sea el único fenómeno predecible.

2- La recolección de información para la apropiada toma de decisiones tiene un costo. Es decir, existirá siempre un límite para la toma racional de decisiones. Este límite será más notable en el futuro cuando los costos de la información aumentarán.

3- Mantener la igualdad en las sociedades tiene un costo. Es decir, las sociedades humanas siempre se beneficiarán de las desigualdades, que continuarán siendo la fuerza motriz del cambio futuro.

4- Mantener la creatividad tiene un costo para la igualdad. Es así como las sociedades igualitarias que aspiran a una sociedad cada vez más justa deberán sacrificar el ingenio. No es posible descartar la llegada de una nueva "edad media" en la cual la creatividad no será valorada tanto como hoy en día.

5- La felicidad es una estado fuera del equilibrio, meta-estable, mantenido por el equilibrio de dos fuerzas: logros y aspiraciones. La sociedad, por lo tanto, estará cambiando siempre su

forma y estructura. Dicho en palabras de los teóricos de los sistemas complejos, el futuro promete muchas caminatas al borde del caos.

Estas apreciaciones plantean la posibilidad de que el futuro del progreso científico sólo será posible si hay algún tipo de desequilibrio físico, social o cultural. Los humanos necesitan sentir alguna forma de insatisfacción para despertar las fuerzas innatas que impulsan la investigación científica. Las guerras han sido en el pasado una poderosa fuerza promotora de la innovación en este campo. La lucha contra la enfermedad y la muerte potencian la investigación contemporánea en biomedicina. ¿Qué se necesita para mantener funcionando el motor del progreso científico?

Patentes, creatividad y una actitud científica

Karl Popper en su autobiografía afirma que el pensamiento creativo es una combinación de interés intenso en un tema o problema, junto con una actitud crítica muy desarrollada. La falta de cualquiera de estos aspectos detendrá el avance de la ciencia. La sociedad futura podría ser menos capaz de motivar suficientemente a la gente como para que dedique su vida a la investigación científica, pero es más probable que la rectitud política y la demagogia democrática limiten la actitud crítica de los ciudadanos dañando a la ciencia en el proceso. Por eso se creó una institución específica para motivar la creatividad: la patente.

La ideas son baratas; muy poca gente paga por ellas por lo que las hay en abundancia. El desafío para tener éxito es seleccionar las buenas y descartar las malas. La ciencia nos muestra cómo hacer esto. Una potente fuente de motivación para hacer investigación científica tiene una base económica: la patente. Con las patentes se asigna a las ideas un valor monetario y su puesta en práctica ya no

es gratis.

Es vieja la discusión sobre si las patentes estimulan o entorpecen el desarrollo científico y tecnológico. Ni las racionalizaciones legales ni las discusiones expertas conducirán a la solución de este dilema. El análisis científico de la implementación práctica de diferentes sistemas de patentes nos puede ayudar a encontrar el equilibrio apropiado para el mantenimiento de una fuerza impulsora fuerte detrás del desarrollo científico. Pero la solución no necesariamente será la misma para todos los campos de la ciencia. ¿Por qué la duración de la protección legal de una idea que toma pocas horas para ser desarrollada e implementada, como podría ser el caso de muchas patentes de software, es la misma que la de un proceso químico, farmacéutico o mecánico que puede requerir miles de millones de dólares, varios años y centenares de personas para su desarrollo? La respuesta que da nuestra sociedad contemporánea a estas cuestiones tiene más que ver con presiones políticas y con grupos de interés que con la maximización del progreso científico. Superar estos dilemas con éxito será un reto importante.

Terminaré este flujo de ideas con una apreciación extraída de la vida de un importante filósofo de la ciencia, que muestra claramente cómo hasta las mentes más brillantes caen en la trampa que la ciencia busca evitar. Llamaré a este cuento: *Cuando las ideas están por encima de la realidad*. El filósofo Stuart Brown escribió en Ithaca, USA, hacia 1950, sobre el influyente Ludwig Wittgenstein:

> "Por lo general él rehusaba la oferta de un aventón. Pero una tarde, como había comenzado a llover, me detuve para ofrecer llevarlo de regreso a los Malcoms. Él aceptó agradecido y, una vez en el auto, me pidió que le identificara las vainas de una planta que había recogido. 'Asclepias' le

dije, señalando la savia blanca que da origen al nombre de la planta. Entonces él me pidió que le describiera las flores de la planta. Fracasé de forma tan miserable que al final detuve el auto en un campo cultivado, bajé y recogí más plantas, algunas con flores y algunas con semillas. El miró sobrecogido la flor y las vainas y luego las vainas y las flores. Súbitamente las estrujó, las arrojó al piso del carro y las pisoteó. ´¡Imposible!´ dijo." (De: *Ludwig Wittgenstein*, por Ray Monk, Vintage, London 1990, pág. 553).

Agradecimientos: Agradezco a Robert Axtell, Manuel Bemporad, Carlo Caputo, Rogelio Chovet, Rodolfo Jaffé, Weiner Jaffé, Virgilio Lew, Joaquín Lira, Guillermo Mascitti, Joaquín Medin, Luis Piscoya, James Randi, Violeta Rojo, Benjamín Scharifker, Juan Torres, Renato Valdivieso y a una lista innumerable de árbitros anónimos por fructíferas discusiones, ideas productivas y/o sugerencias y correcciones que conformaron este libro. No puedo dejar de mencionar los siguientes paisajes que inspiraron partes de este libro: Guadeloupe, Antillas Francesas; Hato La Fe, estado Guárico, Venezuela; Big Island, Hawaii; Tarija, Bolivia; Salta, Argentina; Río Miranda, Pantanal, Brasil.